

**JULIA NOWAK**

---

ÜBERWACHUNG BOVINER NEONATEN  
MIT HILFE EINES AMBULANTEN EKGS



Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines  
**Dr. med. vet.**  
beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



*edition scientifique*  
**VVB LAUFFERSWEILER VERLAG**

**Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.**

**Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei den Autoren dieses Werkes.**

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung der Autoren oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2016

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Authors or the Publisher.

1<sup>st</sup> Edition 2016

© 2016 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen  
Printed in Germany



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN  
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890  
email: [redaktion@doktorverlag.de](mailto:redaktion@doktorverlag.de)

**[www.doktorverlag.de](http://www.doktorverlag.de)**



Aus dem Klinikum Veterinärmedizin, Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und  
Andrologie der Groß- und Kleintiere mit Tierärztlicher Ambulanz der Justus-Liebig-  
Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. A. Wehrend

# **ÜBERWACHUNG BOVINER NEONATEN MIT HILFE EINES AMBULANTEN EKGs**

## **INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

**Julia Nowak**

Tierärztin aus Ilmenau (Thüringen)

Gießen 2016

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

---

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer

Gutachter: Prof. Dr. Wehrend

Prof. Dr. Schneider

Tag der Disputation: 13.12.2016

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>2</b>
2.1	Umstellung des Herz-Kreislaufsystems durch die Geburt.....	2
2.1.1	Morphologische Entwicklung des fetalen Herzens.....	2
2.1.2	Funktionelle Entwicklung des fetalen Herzens.....	3
2.1.3	Der fetale Kreislauf.....	4
2.1.4	Das Herz-Kreislauf-System bei der Geburt.....	6
2.2	Fetale Elektrokardiographie.....	8
2.2.1.	Fetale Elektrokardiographie als diagnostisches Mittel.....	10
2.3.	Neonatale Elektrokardiographie.....	11
2.3.1	Neonatale Elektrokardiographie als diagnostisches Mittel.....	13
2.4	Beeinflussung der elektrischen Herzaktion bei Diarrhoe.....	15
<b>3</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>19</b>
3.1	Technische Ausrüstung.....	19
3.1.1	Elektrokardiogramm.....	19
3.1.2	Labordiagnostische Analysen.....	20
3.2	Probandenkollektiv.....	21
3.2.1	Gesunde Kälber.....	21
3.2.2	Kälber aus Kühen mit Dystokie.....	22

3.2.3	Kälber mit neonataler Diarrhoe.....	22
3.3	Untersuchungen.....	22
3.3.1	Allgemeinuntersuchung.....	22
3.3.2	Segmentale Untersuchung.....	23
3.3.3	Untersuchung mittels Elektrokardiogramm.....	23
3.3.4	Gesunde Kälber.....	24
3.3.5	Kälber aus Kühen mit Dystokie.....	25
3.3.6	Kälber mit neonataler Diarrhoe.....	26
3.4.	Datenbearbeitung.....	27
3.5	Auswertung.....	28
3.5.1	EKG- Auswertung allgemein.....	28
3.5.2	EKG-Auswertung speziell im Rahmen dieser Arbeit.....	29
3.5.2.1	Gesunde Kälber.....	29
3.5.2.2	Kälber aus Kühen mit Dystokie.....	30
3.5.2.3	Kälber mit neonataler Diarrhoe.....	30
3.5.3	Statistische Auswertung.....	31
3.5.3.1	Gruppenvergleich zwischen Kälbern aus Spontangeburt mit Kälbern aus Schweregeburten.....	32
3.5.3.2	Verlaufsuntersuchungen der Kälber mit neonataler Diarrhoe.....	32

<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>33</b>
4.1	Probandenkollektiv.....	33
4.2	Neonaten aus Spontangeburt.....	33
4.2.1	Klinische Untersuchung.....	33
4.2.2	Labordiagnostik.....	34
4.2.3	Auswertung der Elektrokardiogramme.....	35
4.3	Neonaten aus Schweregeburten.....	37
4.3.1	Klinische Untersuchung.....	37
4.3.2	Labordiagnostik.....	38
4.3.3	Auswertung der Elektrokardiogramme.....	39
4.4	Gruppenvergleich zwischen den Kälbern aus Spontangeburt gegenüber den Kälbern aus Schweregeburten.....	40
4.4.1	Vergleich von einmalig erhobenen Parametern.....	40
4.4.2	Vergleich der Verlaufsdaten.....	41
4.4.3	Korrelationsanalyse.....	46
4.5	Kälber mit neonataler Diarrhoe.....	49
4.5.1	Klinische Untersuchung und Labordiagnostik.....	49
4.5.2	Auswertung der Elektrokardiogramme.....	52
4.6	Verlaufsuntersuchungen der Kälber mit neonataler Diarrhoe.....	58
4.6.1	Varianzanalyse.....	58
4.6.2	Korrelationsanalyse.....	63



<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>72</b>
5.1	Diskussion der Fragestellung.....	72
5.1.1	Vergleich von Kälbern aus Spontangeburt mit Kälbern aus Schweregeburten.....	72
5.1.2	Verlaufsuntersuchung von Kälbern mit neonataler Diarrhoe.....	73
5.2	Diskussion der Methode.....	74
5.2.1	Auswahl der Kälber.....	74
5.2.2	Messtechnik.....	74
5.3	Diskussion der Ergebnisse.....	75
5.3.1	Vergleichsuntersuchungen zwischen Kälbern aus Spontangeburt mit Kälbern aus Schweregeburten.....	75
5.3.2	Verlaufsuntersuchung von Kälbern mit neonataler Diarrhoe.....	80
5.4	Schlussbetrachtung.....	85
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>87</b>
<b>7</b>	<b>Summary.....</b>	<b>89</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>91</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>107</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>109</b>

## 1 Einleitung

Der Übergang vom intra- zum extrauterinen Leben führt zu einer Umstellung, bzw. Adaptation der Herz-Kreislaufsituation, die insbesondere im Hinblick auf die Herzfunktion des landwirtschaftlichen Nutztieres nicht vollständig bekannt ist. So war es Ziel der vorliegenden Untersuchungen mit Hilfe eines ambulanten Elektrokardiogramms Parameter der elektrischen Herzfunktion in Abhängigkeit zur Geburtssituation darzustellen.

Weiterhin ging es darum, bei Kälbern mit neonataler Diarrhoe die Beeinflussung der elektrischen Herzfunktion mit Hilfe dieser Technik genauer zu beschreiben. Nach wie vor ist die Todesrate von neonatalen Kälbern mit Durchfall relativ hoch, sodass eine weitergehende Beschreibung der pathophysiologischen Zustände, die mit einer metabolischen Azidose und einer Entgleisung des Elektrolythaushaltes verbunden sind, zu einer Verbesserung dieser Situation führen könnte.

## 2.1 Umstellung des Herz-Kreislaufsystems durch die Geburt

### 2.1.1 Morphologische Entwicklung des fetalen Herzens

Die erste Anlage des Herzens, die kardiogene Zone, liegt laut SCHNORR et al. (2001) am Kopfende der Keimscheibe, wo durch Spaltbildung im Mesoderm die hufeisenförmige primäre Perikardhöhle entsteht. Aus ihr gehen zwei Endokardschläuche hervor, die Herzanlage ist somit zunächst paarig, vereinigt sich beim bovinen Embryo jedoch schon am 22. Tag zu einem Herzschlauch. Dieser Herzschlauch wächst laut MICHEL et al. (1972) rasch in die Länge. Infolge des in diesem Bereich herrschenden Platzmangels kommt es dabei zu einer S-förmigen Einkrümmung, wodurch sich das arterielle Ende dem venösen Ende nähert und die *Herzschleife* entsteht. Es entstehen laut RÜSSE (1991) alternierend Ausweitungen und Einschnürungen, wobei von den Ausweitungen der *Bulbus cordis*, der Ventrikel und das Atrium zuerst zu erkennen sind. Diesen fügt ZIETZSCHMANN (1955) als weiteren erwähnenswerten Abschnitt den *Sinus venosus* hinzu, welcher cranial des Atriums liegt und den Sammelraum für die jederseitigen Stämme der *Vena umbilicalis* und der *Vena omphalomesenterica* repräsentiert. Das Atrium und der *Sinus venosus* werden nun nach dorsal verlagert. Dies findet laut RÜSSE (1993) beim bovinen Embryo im 20-Somiten-Stadium, 22 Tage post inseminationem, statt. Des Weiteren werden laut HEINE (1975) Atrium und Ventrikel durch sich bildende und aufeinander zu wachsende Endokardkissen voneinander getrennt. Diese Trennung erfolgt entlang des Atrioventrikularkanal, auch Aurikular- oder Ohrkanal genannt. Die zuvor beschriebenen Endokardkissen sind laut RÜSSE (1993) die Vorläufer der späteren Semilunarklappen. Nach der folgenden Entwicklung der Herzohren, welche beim equinen Embryo bei einer Scheitel-Steiß-Länge von 6 – 8 mm erfolgt, beginnt die Teilung des Atriums. Hierzu wächst ein sichelförmiges Septum von der dorsokaudalen Region des gemeinsamen Vorhofes auf die atrioventrikuläre Verbindung zu, das *Septum primum* (RÜSSE, 1993). Nach SCHNORR et al. (2001) lässt dieses Septum vorübergehend das *Foramen primum* offen, welches sich jedoch rasch verkleinert und dann verschwindet. Noch bevor dieses Foramen jedoch verschlossen ist, entsteht durch Perforationen im *Septum primum* das *Foramen secundum*, welches später die sekundäre Verbindung

zwischen rechtem und linkem Vorhof darstellt (RÜSSE, 1993). Kurz darauf bildet sich laut MICHEL et al. (1972) in diesem Bereich eine weitere Falte, das *Septum secundum* mit einer Öffnung, dem *Foramen ovale secundum*, welches zusammen mit dem *Foramen secundum* das spätere *Foramen ovale* bildet. RÜSSE (1993) beschreibt, dass die Teilung des gemeinsamen Ventrikels von einer Falte ausgeht, die von ventral, von der Spitze der Herzscheife, nach dorsal auf den Atrioventrikularkanal zuwächst, aber ein *Foramen interventriculare* offen lässt. Zu diesem Zeitpunkt werden auch die primitiven Atrioventrikularklappen und Papillarmuskeln entwickelt. Damit sind alle wesentlichen Bestandteile des fetalen Herzens angelegt und es findet nur noch in geringem Maß Ausdifferenzierung, jedoch deutliches Größenwachstum statt.

#### 2.1.2 Funktionelle Entwicklung des fetalen Herzens

Laut MICHEL et al. (1972) beginnt die funktionelle Entwicklung des Herzens mit der Differenzierung zu einem Reizbildungs- und Erregungsleitungssystem relativ früh, da sich mit ihm die Automatie des Herzens ausbildet. Das Herz beginnt schon zu einer Zeit mit seiner Tätigkeit in der noch kein Nervengewebe in ihm nachzuweisen ist. Dies wird von LANGE (1914) als ein Beweis für die myogene Leitung der Erregung im Herzen angesehen. Die ersten Kontraktionen entstehen auch laut RÜSSE (1993) in den Muskelzellen (Pacemaker-Zellen) selbst und sind zunächst unkoordiniert und unregelmäßig. Beim bovinen Embryo setzt der koordinierte Herzschlag am 22. Tag post inseminationem ein. Dass Vorhof- und Kammermuskulatur kontinuierlich ineinander übergehen, was Grundvoraussetzung für eine myogene Erregungsleitung ist, beschrieb als erster LANGE (1914) nach eigenen Studien, den Verdacht dazu hatte jedoch schon BORN (1889). Laut FUKUTAKE (1925) besteht das Reizleitungs- und Erregungsbildungssystem aus Sinusknoten, dem Atrioventrikularknoten, dem Hisschen (Atrioventrikular-) Bündel und seinen Aufzweigungen bis zu den Purkinjefasern. Den ontogenetisch ältesten Abschnitt stellt hiervon das Atrioventrikulärbündel dar. Beim Rind tritt der Atrioventrikularknoten bei einer Scheitel-Steiß-Länge von 9 mm im dorsalen Endokardkissen auf. Mit 23 mm ist dann das Hissche Bündel zu erkennen. Der Sinusknoten wird in der rechten Sinuswand angelegt. Der Sinusknoten stellt laut LANGE (1914) eine Muskelmasse dar, die im Gebiet der Grenze zwischen Vorhof und Kammer gelegen ist. Sie setzt sich aus histologisch besonders gekennzeichneten Muskelfasern zusammen, die sowohl mit

der oberen Hohlvene als auch mit dem rechten Vorhof durch zahlreiche Fasern in ausgiebige Verbindung treten. Die Vorhof-Kammerverbindung entsteht, indem sich im hinteren Teil des Vorhofseptums zahlreiche Fasern, die der Muskulatur beider Vorhöfe entstammen, vereinigen.

### 2.1.3 Der fetale Kreislauf

Laut BORN (1889) wird unter dem fetalen Kreislauf beim Säuger, der Plazenta- oder Allantoiskreislauf verstanden. Der Dottersackkreislauf ist im Gegensatz zum Vogel bei den Haussäugetieren entweder von untergeordneter Bedeutung oder spielt wie beim Pferd und Fleischfresser nur vorübergehend eine Rolle.

In den Zottenkapillaren der Plazenta wird das Blut laut KEITH et al. (1958) mit etwa 80 % Sauerstoff angereichert und gelangt dann über die *Vena umbilicalis* in den Fetus. Etwa die Hälfte des Nabelvenenblutes durchströmt die Leber, die andere Hälfte umgeht laut KISERUD (2005) die Leber mit Hilfe des *Ductus venosus arantii* und fließt direkt zur *Vena cava inferior* und in den rechten Herzvorhof. Laut DICKSON (1957) besteht im *Ductus venosus arantii* eine sphinkterartige Struktur, die den Fluss des Blutes aus der Plazenta entweder, bei offenem Sphinkter, vermehrt dem Herzen oder, bei verengtem Sphinkter, vermehrt der Leber zuführen kann. Dies ist vor allem in der Mitte der Gravidität von Bedeutung, da in diesem Entwicklungsabschnitt die Leber das hauptblutbildende Organ darstellt. In die vorher genannte *Vena cava inferior* mündet zudem die *Vena cava caudalis* (Abbildung 1), welche sauerstoffarmes Blut aus der unteren Körperhälfte führt. Somit fließt gemischtes Blut in den rechten Vorhof. Des Weiteren mündet auch die *Vena cava superior*, welche sauerstoffarmes Blut aus der Region des Kopfes und der vorderen Extremitäten führt, in den rechten Vorhof. Ein kleiner Anteil dieses Blutes gelangt laut RÜSSE (1993) über das *Ostium atrioventriculare* in den rechten Ventrikel, von wo aus es in den *Truncus pulmonalis* gepumpt wird. Dieser setzt sich in den *Ductus arteriosus Botalli* (Abbildung 1) fort, welcher das Blut, zum großen Teil an der Lunge vorbei, in die Aorta leitet. Das Offenhalten des *Ductus arteriosus Botalli* wird laut PAGE et al. (1976) während der Fetalphase durch lokal gebildete Prostaglandine bewirkt, die an den glatten Muskelzellen der Wand des *Ductus arteriosus Botalli* angreifen und zur Relaxierung der Muskelzellen führen.



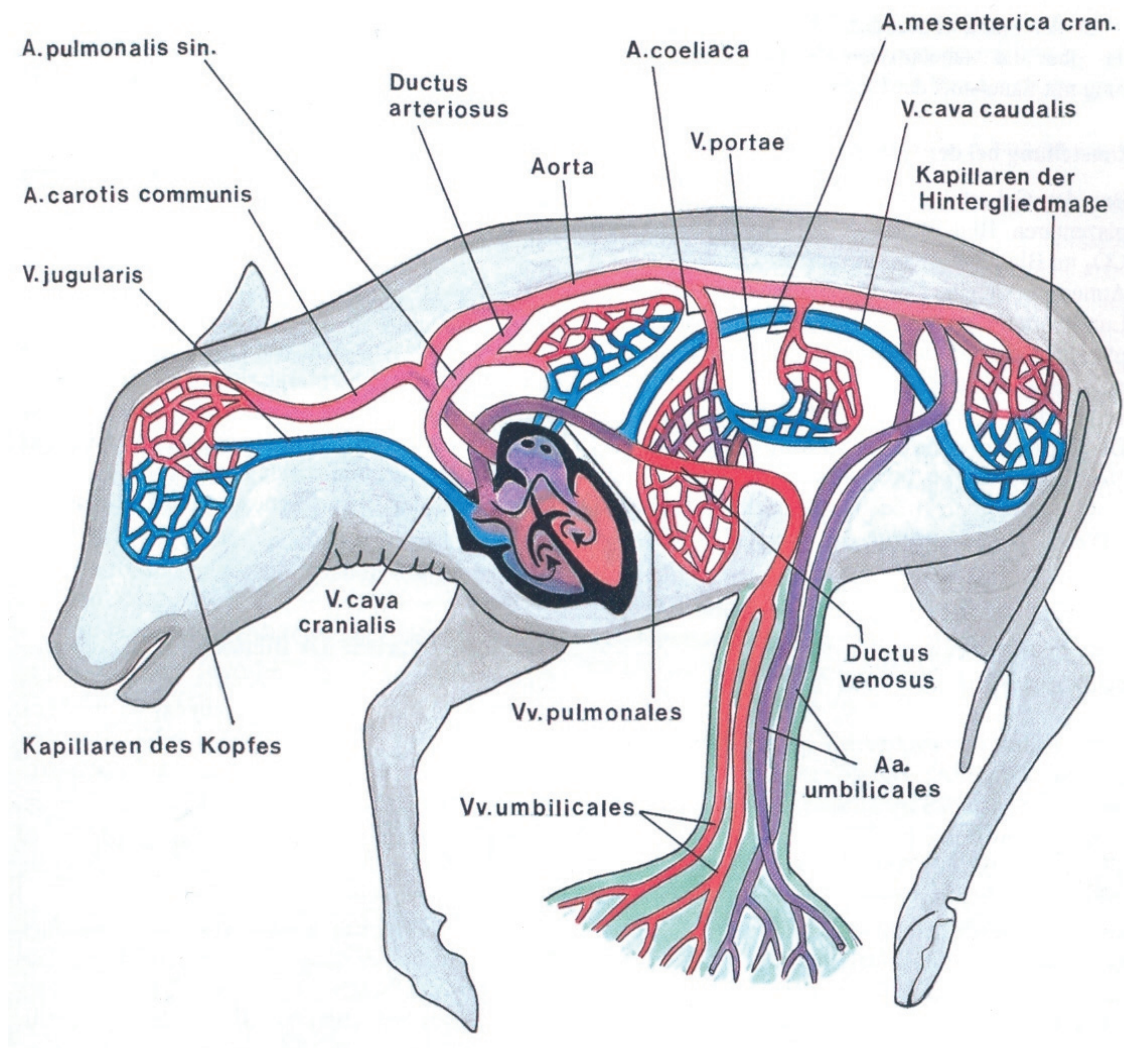


Abbildung 1 : Vereinfachtes Schema des Fetalkreislaufes beim Rind. Die Farben zeigen die Sauerstoffsättigung des Blutes (hellrot = hoch, violett = mittel, blau = niedrig) aus SCHNORR et al. (2001) in Anlehnung an ZIETZSCHMANN (1955)

Da die Lunge während des Fetallebens noch nicht belüftet ist, verbraucht sie Sauerstoff, statt dem Organismus Sauerstoff zu liefern. Der deutlich größere Anteil des Blutes aus dem rechten Vorhof gelangt laut WALSER (1990) über das *Foramen ovale* direkt in den linken Vorhof. Hier mischen sich nochmal geringe Mengen venösen Blutes bei, welche aus der Lunge stammen und über die *Venae pulmonales* in den linken Vorhof eintreten. Laut SCHNORR et al. (2001) wird das Blut nun über den linken Ventrikel in den Aortenbogen mit Abgängen zu den Kopf- und Extremitätengefäßen und die *Aorta descendens* gepumpt. Die Sauerstoffsättigung

beträgt hier laut KEITH et al. (1958) noch 58 %. Das somit relativ sauerstoffarme Blut gelangt nun zum Teil zur Wiederanreicherung mit Sauerstoff und Abgabe von Stoffwechselmetaboliten über die *Arteriae umbilicales* zur Plazenta, zum Teil fließt es in die untere Körperhälfte, die daher relativ schlecht mit Sauerstoff versorgt ist (Abbildung 1).

#### 2.1.4 Das Herz-Kreislauf-System bei der Geburt

Während der Geburt des bovinen Neonaten, beziehungsweise nach der Geburt bei Pferd oder Fleischfresser, wird die feto-maternale Verbindung durch das Abreißen der Nabelschnur getrennt. Daraufhin kommt es im Neonaten zum Sauerstoffmangel und zur Anreicherung von CO<sub>2</sub> im Blut. Dieser Kohlensäureüberschuss reizt laut RÜSSE (1993) Rezeptoren im Atemzentrum in der Medulla oblongata, die daraufhin reflektorisch den ersten Atemzug bewirken. Mit der ersten Einatmung von Luft vergrößert sich die Lunge beträchtlich und mit dem Funktionsbeginn wird ihr Blutkreislauf angeregt. Diese Umstellung vom fetalen Zirkulationsmechanismus auf die postnatalen Bedingungen muss schlagartig im Moment der Geburt, bei Einsetzen der Atmung erfolgen. Um dies gewährleisten zu können bereitet sich der Organismus laut STARCK (1955) schon deutlich vor der Geburt darauf vor. Das Gefäßsystem der Lunge wird in den letzten Wochen des Fetallebens bereits von einer recht beträchtlichen Blutmenge durchströmt. Am Gefäßsystem selbst treten mit der Geburt und dem Einsetzen der Atmung oder kurz danach bedeutende Veränderungen auf. An dieser Stelle ist der *Ductus arteriosus Botalli* zu nennen, welcher laut WALSER (1990) antepartal die Aufgabe eines Rechts-links-Shunts besitzt, um das Blut aus dem rechten Herzen an der Lunge vorbei dem linken Herzen zuzuführen. Da jedoch der Widerstand der Lungengefäße mit Entfaltung der Lunge beim ersten Atemzug massiv absinkt, kann das gesamte aus der rechten Herzkammer in die *Arteria pulmonalis* gepumpte Blut von der Lunge aufgenommen werden. Der *Ductus arteriosus Botalli* wird somit nicht mehr in Richtung Aorta durchströmt. Es kommt vielmehr vorübergehend zu einer Stromumkehr, da jetzt beim Neugeborenen der Druck in der Aorta den Druck in der *Arteria pulmonalis* übersteigt. Die Folge ist ein vorübergehender Links-rechts-Shunt. Der Kreislauf des Neugeborenen verbleibt noch einige Tage in diesem labilen Übergangsstadium, erst dann erfolgt allmählich der funktionelle und morphologische Verschluss des *Ductus arteriosus Botalli*. Dieser Verschluss wird laut HARMS (1966) erst durch eine Kontraktion der Muskulatur

ermöglicht, bei der es zur Umorientierung der Muskelzellen aus einer schneckenförmigen in eine zirkuläre Anordnung kommt. Die Füllung des Restlumens durch ein retikuläres, schwammiges Gewebe geht fast ausschließlich von der Intima des Gefäßes aus. Die vom Endothel neugebildeten Zellen differenzieren sich zu Fibroblasten, zwischen denen elastische und kollagene Fasern erscheinen. Dieser Vorgang findet auf der ganzen Länge des *Ductus arteriosus Botalli* statt. Auch GRÄPER (1921) und STARCK (1955) beschreiben eine sphinkterartige Kontraktion der Muskulatur als Hauptursache für den Verschluss des *Ductus arteriosus Botalli*, STARCK (1955) bezeichnet die letztendliche Obliteration des Gefäßes als eine Art Entzündungsreaktion.

Eine weitere Umstellung vom fetalen zum postnatalen Kreislauf ist der Verschluss des *Ductus venosus Arantii*, welcher antenatal einen Kurzschluss zwischen *Vena umbilicalis* und *Vena cava inferior* darstellt. Laut MEYER und LIND (1965) ist die postnatale funktionelle Ausschaltung des *Ductus venosus Arantii* eine Folge des Druckabfalls im portalen Sinus (*Recessus umbilicalis*) und beruht im Wesentlichen auf der Retraktion und Engstellung seines Abganges, dessen Weite vom Gefäßinnendruck in hohem Maße abhängig ist. Die Retraktion des Ductusabganges wird durch muskuläre Elemente gefördert, die nahe dem Ductusabgang in die Wand des portalen Sinus eingebaut sind.

Im Laufe der Geburt reißt der Nabelstrang und mit ihm die Nabelgefäße. Der darauffolgende Verschluss der Gefäße geschieht laut FISCHER (1932) bei den Nabelarterien durch reine Gefäßkontraktion, wobei ins Lumen hereinragende Wülste einen restlosen Verschluss ermöglichen. Aus den obliterierten Nabelarterien werden laut SCHNORR et al. (2001) die *Ligamenta teres vesicae*. Die beiden Nabelvenen unterscheiden sich im Bau nur wenig, es sind dickwandige, muskulöse Gefäße. Ihr Verschluss erfolgt laut FISCHER (1932) durch starke Zerkleinerung und anschließende Thrombenbildung im unversehrten Venensinus. Am Herzen selbst besteht die wichtigste funktionelle Veränderung im Rahmen des Geburtsvorgangs im Verschluss des *Foramen ovale*. Nach RÜSSE (1993) steigt in Folge der Entfaltung und vermehrten Durchblutung der Druck im linken Vorhof über den Druck im rechten Vorhof an, was dazu führt, dass sich das dünne *Septum primum* wie eine Klappe dem kräftigeren *Septum secundum* anlegt und somit das *Foramen ovale* zwischen den beiden Vorhöfen funktionell verschließt. In den darauffolgenden Stunden und

Tagen erfolgt auch ein morphologischer Verschluss durch das Verkleben und anschließende Verwachsen der beiden Septen.

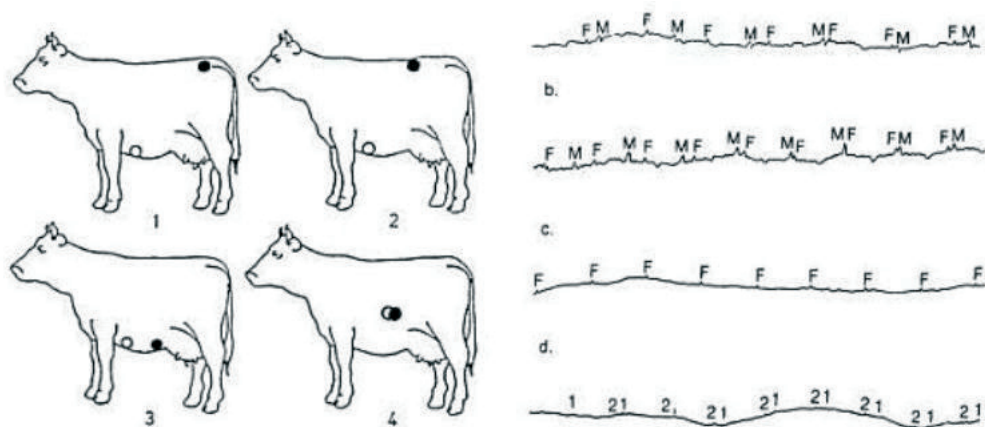
## 2.2 Fetale Elektrokardiographie

Die Möglichkeit mittels Elektrokardiographie die Herztätigkeit graphisch darzustellen, beruht auf der Erfassung elektrischer Potentiale, welche im Rahmen der Herzaktivität durch Erregungsbildung, -leitung, -ausbreitung und -rückbildung am Herzen entstehen. Da sich diese elektrischen Potentiale aufgrund der Leitfähigkeit der Körpergewebe bis an die Körperoberfläche ausbreiten, können sie von dieser abgeleitet werden. Die elektrischen Potentialdifferenzen, die während einer Herzaktion entstehen, erzeugen zwischen den Ableitungsstellen auf der Haut Spannungen im Millivoltbereich, welche registriert und in Abhängigkeit von der Zeit graphisch dargestellt werden können (SPÖRRI 1975).

Um ein fetales Elektrokardiogramm zu erhalten gibt es generell zwei Möglichkeiten: Die direkte und die indirekte fetale Elektrokardiographie.

Bei der direkten fetalen Elektrokardiographie werden intrauterin Elektroden am Fetus angelegt und von dessen eigener Körperoberfläche die elektrischen Potentiale abgeleitet und graphisch dargestellt. Hierzu führten BOLTE und KESSLER (1968) Studien an trächtigen Kaninchen durch, bei denen im Rahmen einer Laparotomie lackisolierte Kupferdrahtelektroden auf der Rückenhaut der Feten implantiert wurden. Das Ableitkabel wurde durch die Uterusmuskulatur und unter der Rückenhaut der Muttertiere entlang zum Kopf der Tiere geführt und dort herausgeleitet. Durch diese Technik gelangen EKG-Verlaufsuntersuchungen intrauteriner Feten am wachen Muttertier zwischen dem 21. und 34. Trächtigkeitstag. Am eröffneten Uterus gelangen Ableitungen des fetalen Elektrokardiogramms ab dem 9. Trächtigkeitstag. Da diese Technik sehr aufwendig und mit hohen Risiken für die Feten und das Muttertier verbunden ist, hat diese Methode rein wissenschaftlichen Nutzen. Eine weitere Möglichkeit zur direkten fetalen Elektrokardiographie besteht beim Rind direkt intra partum in der Öffnungsphase der Zervix am intrauterinen Kalb (HELD et al. 1986, JONKER et al. 1989). Hierzu werden durch die geöffnete Zervix Elektroden am Brustkorb des intrauterinen Kalbes angebracht. Sowohl bei JONKER et al. (1989) als auch bei HELD et al. (1986) wurde zusätzlich ein Katheter zur intrauterinen Druckmessung eingeführt. Dadurch konnte die fetale Herzfrequenz in Abhängigkeit zum intrauterinen Druck als Kardiotokogramm dargestellt werden. JONKER et al.

Deutlich häufiger angewendet und auch unter Praxisbedingungen einsetzbar ist die indirekte fetale Elektrokardiographie. Mittels spezieller Elektrodenplatzierung (Abbildung 2) am Körper des Muttertieres erfolgt eine bipolare Ableitung der elektrischen Potentiale, die als Folge der Erregungsvorgänge am fetalen Herzen zwischen bestimmten Punkten auf der Körperoberfläche entstehen (GRUNERT und MANSFELD, 1989).



- = Elektrodenpositionen rechts der Medianen
- = Elektrodenpositionen links der Medianen



Die erhaltene Kurve stellt ein mütterliches Elektrokardiogramm mit integrierten fetalen Elektrokardiogramm-Anteilen dar. Erste Berichte über ein fetales Elektrokardiogramm stammen aus der Humanmedizin von CREMER (1906) nach Untersuchungen an schwangeren Frauen. Basierend auf der Arbeit von CREMER (1906) wurden von NÖRR (1921) erstmalig Aufnahmen fetaler Elektrokardiogramme an trächtigen Stuten vorgenommen.

Die indirekte fetale Elektrokardiographie nutzen später auch LARKS et al. (1960), KANAGAWA et al. (1965, 1966) und TOO et al. (1965, 1966, 1967), LINDAHL et al. (1968), MANSFELD und GRUNERT (1989) und STEFFEN et al. (1995) für ihre Studien bei tragenden Rindern und LARKS (1960) an tragenden Schafen. Als frühestmöglichen Zeitpunkt für eine erfolgreiche und aussagekräftige Detektion des fetalen Elektrokardiogrammes beschreiben TOO et al. (1965) den 150. Trächtigkeitstag beim Rind. Diesen Trächtigkeitstag geben COLLES et al. (1978) auch für die Stute an, HOLMES und DARKE (1968) nennen den 144. Tag der Gravidität. LINDAHL et al. (1968) beschreiben in nur 42,9 % der Fälle eine erfolgreiche Ableitung des fetalen Elektrokardiogrammes ab dem 130. Trächtigkeitstag. NAGEL et al. (2010) beschreiben das Absinken der Herzfrequenz des equinen Fetus vom 170. Tag der Trächtigkeit mit  $115 \pm 4$  Schlägen pro Minute auf  $79 \pm 1$  am Tag vor der Geburt. Zudem fanden NAGEL et al. (2011) heraus, dass die Herzfrequenz und die Herzfrequenzvariabilität des Fetus unabhängig von der Größe der tragenden Stute sind. Trotz unterschiedlicher Herzfrequenzen von Shetlandpony Stuten und Warmblutstuten wiesen die Feten der Stuten im Vergleich bei beiden Parametern keine signifikanten Unterschiede auf.

## 2.2.1 Fetale Elektrokardiographie als diagnostisches Mittel

LARKS et al. (1960), KANAGAWA et al. (1965, 1966), LINDAHL et al. (1968), MANSFELD und GRUNERT (1989), STEFFEN et al. (1995), TOO et al. (1965, 1966, 1967), COLLES et al. (1978), HOLMES und DARKE (1968) und MATSUI et al. (1984) nutzten die indirekte fetale Elektrokardiographie. Sie diente ihnen als sichere, aussagekräftige, dokumentierbare und minimalinvasive Möglichkeit der Erkennung eines lebenden Fetus intra uterinem.

Darüber hinaus erkannten TOO et al. (1965) und LINDAHL et al. (1968) die indirekte fetale Elektrokardiographie als sicheres diagnostisches Mittel zum Erkennen einer Zwillingsträchtigkeit.

Nach Studien von STEFFEN et al. (1995) wurden über die indirekte fetale Elektrokardiographie bei Rinderfeten Herzfrequenzverlaufskurven erstellt, aus denen die fetale Basalfrequenz und die Oszillationsamplitude sowie –frequenz ermittelt werden konnten. Diese Parameter wurden durch Vergleich mit der APGAR-Benotung, Kolostrumaufnahme und Werten der Blutgasanalyse post natum auf ihre Eignung zur Vitalitätsbeurteilung überprüft. Dabei ergaben sich signifikante positive Korrelationen zwischen fetaler Basalfrequenz des Herzens intra natum und dem Basendefizit unmittelbar post natum sowie signifikant negative Korrelationen zwischen der Basalfrequenz intra natum und Blut-pH-Wert unmittelbar post natum. Zudem korreliert die Oszillationsamplitude negativ mit dem pH-Wert und der Standardbikarbonatkonzentration, sowie positiv mit dem Kohlendioxidpartialdruck und dem Basendefizit. Neonaten mit einer Geburtsazidose oder eingeschränkter Kolostrumaufnahme wiesen intra natum signifikant höhere Oszillationsamplituden auf als gesunde Kontrollkälber. Somit eignet sich die fetale Basalfrequenz alleine nicht zur Vitalitätsbeurteilung, jedoch in Verbindung mit der Oszillationsamplitude liefern sie einen Hinweis auf die Gefährdung des bovinen Fetus.

STÄHLI (2010) konnte nachweisen, dass es bei hochträchtigen Stuten keinen Zusammenhang zwischen maternaler und fetaler Herzfrequenz gibt. Zudem war über die fetalen Parameter keine Korrelation zur Vitalität des Fohlens post natum herzustellen.

### 2.3 Neonatale Elektrokardiographie

Um beim neugeborenen Kalb ein Elektrokardiogramm abzuleiten gibt es mehrere Möglichkeiten. Laut VAN ARSDEL (1959) werden die Ableitungen klassifiziert als *unipolar*, was bedeutet, dass die Ableitung zwischen einem Punkt auf der Körperoberfläche des Tieres und einer unbewegten Erdung stattfindet, *bipolar*, also zwischen zwei Punkten auf der Körperoberfläche des Tieres, oder als *gepoolte* Ableitung, wie zum Beispiel beim Dreieckssystem nach Einthoven mit drei Ableitungen. Auch werden in der Literatur verschiedene Ableitungsstellen diskutiert. NÖRR (1921) und MENDES (2001) beschreiben die Gliedmaßenableitung beim Kalb, räumen aber selbst ein, dass die Potentialausschläge klein seien. Als Alternative benutzte NÖRR (1921) eine bipolare Ableitung zwischen der Herzspitze, also auf der Haut unter dem linken Ellenbogen und der rechten Halsseite in der Nähe der Skapula, da dort die höchsten Ausschläge der QRS-Komplexe zu finden waren.

Für seine Studien nutzte er große Zinkplättchen als Elektroden. SPÖRRI (1975) hingegen nutzte Nadelelektroden, die er subkutan einstach. Er bezeichnete die unipolare Ableitung beim Rind als schwierig zu interpretieren und bevorzugte die Dreiecksableitung nach Einthoven, wobei er den Kreuzbeinhöcker als Position für die dritte Nadelelektrode wählte. AGDUHR und STENSTRÖM (1930) und ALFREDSON und SYKES (1942) nutzten wie NÖRR (1921) die Gliedmaßenableitungen für ihre Studien zur Lage der Herzachse bei Kälbern, beschrieben aber die Schwierigkeit einen konstanten Kontakt der Elektroden zu den Ableitungsstellen herzustellen. BERGMANN und SELLERS (1954) verwendeten für ihre Studien eine Ableitung, die sie als *präkordial* bezeichneten. Die Elektroden für diese Ableitung platzierten sie ähnlich wie NÖRR (1921) an der Herzspitze und an der rechten Kante der Skapula. VAN ARSDEL (1959) beschreibt für seine Studien eine Brustwandableitung und nennt insgesamt zehn mögliche Punkte zur Anbringung der Elektroden. Die zur Ableitung am besten geeigneten Punkte auf der linken Seite waren laut ihm der Rand des Sternums auf Höhe der 7. Rippe (Punkt V3 in Abbildung 3) und zwischen der 7. und 8. Rippe hinter der dorsalen Kante der Skapula (Punkt V7 in Abbildung 3). Auf der rechten Seite lag der beste Punkt zwischen der 7. und 8. Rippe hinter der dorsalen Kante der Skapula (Punkt V9 in Abbildung 3). Um die Elektroden und die dazugehörigen Kabel zu befestigen und zu sichern, klemmte er sie unter einen Brustgurt, welchen er um den Thorax des Kalbes legte und hinter den Vorderbeinen befestigte. Ein weiterer möglicher Ableitungspunkt liegt laut ihm thorakolumbal (Punkt T in Abbildung 3), jedoch beschreibt VAN ARSDEL (1959), dass es an dieser Stelle schwierig sei, die Elektrode zu befestigen, da ein hier angelegter Gurt die Kälber massiv gestört habe.

Abbildung 3: Elektrodenpositionen zur Brustwandableitung aus VAN ARSDEL (1959)

### 2.3.1 Neonatale Elektrokardiographie als diagnostisches Mittel

Die neonatale Elektrokardiographie diente mehreren Autoren als diagnostisches Mittel um die Herzaktionen verschiedener Rinderrassen oder verwandter Arten miteinander zu vergleichen. So verglichen AMORY et al. (1993) schwarz-bunte Holstein-Frisian Kälber mit Kälbern der Rasse weiß-blaue Belgier. Sie fanden heraus, dass die beiden Rassen sich zwar nicht in der durchschnittlichen Herzfrequenz unterschieden, aber in den aufgezeichneten Elektrokardiogrammen. So hatten die Kälber der weiß-blauen Belgier bei gleicher Frequenz deutlich kürzere QRS-Dauern und kürzere QT-Intervalle, wobei sie signifikant längere ST-Intervalle aufwiesen. VAN ARSDEL (1959) führte in diesem Sinne umfangreiche Studien an Fleischrindern der Rasse Hereford durch und JAYANTHI et al. (1996) an Büffelkälbern.

WHITTINGTON und COOK (1988) bewiesen mit Hilfe des neonatalen Elektrokardiogramms die Herzveränderungen am „Woolly haircoat syndrom“ erkrankter Kälber, einer letal verlaufenden, autosomal rezessiv vererbten Erkrankung der Hereford-Rinder. Das Elektrokardiogramm zeigte ventrikuläre Extrasystolen und ventrikuläre Tachykardien mit bis zu 120 Schlägen pro Minute.

MATSUI et al. (1984) nutzten das Elektrokardiogramm bei neonatalen Kälbern und Fohlen zum Nachweis der Wirksamkeit verschiedener Medikamente. Sie testeten die Wirkungen des Parasympatholytikums Atropin, des Sympatholytikums Propanolol und die Wirkung der beiden Medikamente in Kombination auf das neonatale Herz. Die Injektion von Propanolol bei neonatalen Fohlen und Fohlen im Alter von unter zwei Monaten bewirkte ein deutliches Absinken der Herzfrequenz, wobei die Muttertiere auf die Injektion von Propanolol nicht mit einem Absinken der Herzfrequenz reagierten. Nach der Injektion von Atropin oder der Kombination von Atropin und Propanolol stieg die Herzfrequenz deutlich bei den Fohlen und Mutterstuten an.

SAKHA und REZAKHANI (2001) gelang es, die kardiotoxische Wirkung von Oleander anhand der Elektrokardiogramme experimentell vergifteter Kälber zu beweisen. Die Studie zeigte, dass die Aufnahme des Oleander-Toxins in den ersten Stunden nach Aufnahme des Giftes bei den Kälbern zu Bradyarrhythmien führte, wahrscheinlich durch die Wirkung auf das Herz und den Nervus vagus in der Wirkungsweise von Herzglykosiden. Umso weiter die Vergiftung zeitlich voranschritt, umso häufiger kam es bei den Tieren zu Tachyarrhythmien, wahrscheinlich

hervorgerufen durch Abbauprodukte des Toxins. Fast alle Versuchstiere starben letztendlich an ventrikulärer Tachykardie oder Kammerflimmern.

VAN VLEET et al. (1983) zeigten anhand der Elektrokardiogramme die kardiotoxische Wirkung des Polyen-Makrolidantibiotikums Monensin auf Kälber bei einer deutlichen Überdosierung. Den Kälbern wurden 40 mg/kg oral verabreicht, wobei die therapeutische Dosis bei 1 mg/kg liegt. Die Kälber reagierten im Elektrokardiogramm mit Verlängerungen des Q-T-Intervalls und des QRS-Komplexes, sowie AV-Blöcken ersten Grades.

BRIHOUM et al. (2011) wiesen nach, dass sowohl eine normale Dosierung (5 mg/kg), als auch eine fünffache Überdosierung (25 mg/kg) von oral verabreichtem Doxycyclin an fünf aufeinanderfolgenden Tagen keine labordiagnostischen, echo- oder elektrokardiographischen Auswirkungen auf gesunde, zwei Monate alte Kälber hat.

PRUITT (1962) bewies, dass sowohl ein Rechtsschenkelblock, als auch ein Linksschenkelblock, wie er auch am menschlichen Herzen und am Hundeherz zu finden ist, auch am Kälberherz mit Hilfe eines Elektrokardiogrammes nachgewiesen werden kann. Hierzu suchte er nicht nach Kälbern mit einem auffälligen EKG-Befund, sondern setzte auf chirurgischem Weg die Voraussetzung für die Veränderungen am Herzen. Per definitionem ist bei einem Rechtsschenkelblock die Weiterleitung der elektrischen Impulse im rechten Tawara-Schenkel verlangsamt oder völlig blockiert. Die Weiterleitung findet dann über die Arbeitsmuskulatur statt, welche jedoch nur mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s leitfähig ist, im Gegensatz zum unblockierten Tawara-Schenkel, welcher mit 2 m/s leitet. PRUITT (1962) durchtrennte entweder den linken oder den rechten Tawara-Schenkel an den Kälberherzen chirurgisch und leitete davor und danach ein Elektrokardiogramm ab. Bei beiden Schenkelblöcken verlängerte sich der QRS-Komplex um jeweils 0,02 Sekunden und wurde somit deutlich breiter. Sowohl ALFREDSON und SYKES (1942) als auch PRUITT (1962) merken an, dass die Veränderungen am Elektrokardiogramm beim Kalb durch einen Schenkelblock deutlich weniger ausgeprägt ausfallen als bei der gleichen Veränderung am Hundeherzen oder Menschenherz. Die Autoren führen das auf einen Unterschied im intraventrikulären Leitungssystem zurück.



## 2.4 Beeinflussung der elektrischen Herzaktion bei Diarrhoe

Laut NAYLOR et al. (2006) schädigen Elektrolytimbalancen und Azidose die elektrische Herzaktion von Kälbern, die an neonataler Diarrhoe erkrankt sind, was sich darin zeigt, dass Arrhythmien eine der Haupttodesursachen dieser Kälber sind.

Als Hauptursache der Veränderungen im Elektrokardiogramm an neonataler Diarrhoe erkrankter Kälber geben verschiedene Autoren Abweichungen im Kaliumhaushalt an (WELDON et al., 1992; EPSTEIN, 1984; FISCH, 1973; ÖZKAN et al., 2011).

FISCH (1973) beschreibt, dass zwar mehrere Elektrolyte bei der Entstehung transmembran geleiteter Aktionspotentiale eine Rolle spielen, aber bei der Entstehung von Arrhythmien der Serum-Kaliumspiegel entscheidend ist. Dies liegt darin begründet, dass Kalium sowohl auf die Leitfähigkeit des Herzmuskels an sich als auch auf dessen Automatismus einwirkt.

Ebenfalls beschreibt EPSTEIN (1984), dass eine Hyperkaliämie das equine EKG verändert. Bei experimentell erzeugter Hyperkaliämie zeigten die ersten Tiere schon bei einem Serum-Kaliumspiegel von 6,2 mmol/l Veränderungen im Elektrokardiogramm und bei Serum-Kaliumkonzentrationen zwischen 8,0 und 10,1 mmol/l stellten sich schwerwiegende kardiotoxische Effekte ein. Erste Anzeichen einer Hyperkaliämie zeigten sich in einer Verbreiterung, aber gleichzeitigen Abflachung der P-Wellen. Bei steigender Kaliumkonzentration zeigten sich Polaritätsveränderungen der T-Wellen bis hin zu verschiedensten Arrhythmien.

Zusätzlich zur Verbreiterung und Abflachung der P-Wellen fanden ÖZKAN et al. (2011) bei an Diarrhoe erkrankten Kälbern mit einer Hyperkaliämie auch QRS-Komplexe mit verringerter Amplitude und verkürzter Dauer, sowie vergrößerten T-Wellen, im Vergleich zu gesunden Kälbern.

Auch WELDON (1992) beschreibt elektrische Funktionsstörungen des Herzmuskels durch diarrhoebedingte Hyperkaliämie bei Kälbern. Er beschreibt des Weiteren Rhythmusstörungen, Bradykardien und in vereinzelten Fällen sogar einen vollständigen Vorhofstillstand.

Einen Zusammenhang zwischen dem Plasma-Calciumspiegel und dem dazugehörigen Elektrokardiogramm bei Kühen und Kälbern fanden LITTLEDIKE et al. (1976). Die Autoren beschreiben ein unverändertes QT-Intervall bei einer Total-Calcium-Konzentration von 5,5 bis 8,2 mmol/l, beziehungsweise einer Calcium-Ionen-Konzentration von 0,75 bis 3,2 mmol/l. Bei Werten unterhalb dieser Werte

verlängerte sich das QT-Intervall, bei Werten darüber verkürzte es sich, jedoch jeweils nicht linear und mit einem großen Abweichungsspektrum. Eine Hypercalcämie schien die elektrische Vorhofaktivität zu verringern und die Kammeraktivität zu verstärken. Aus dieser Uneinheitlichkeit entstanden Bradykardien, ventrikuläre Extrasystolen und ein zeitweiser Ausfall der Reizleitung im Sinusknoten. Die Aktivität des Nervus vagus schien durch Veränderungen im Plasma-Calciumspiel beeinflusst zu werden und an der Entstehung der Arrhythmien beteiligt zu sein, da eine Injektion von Atropin bei Auftreten einer Arrhythmie bedingt durch eine Hypercalcämie diese beseitigen konnte.

Umfangreiche Studien zu den Auswirkungen auf das Elektrokardiogramm durch Azidose führten STEWART et al. (1965) durch. Hierzu wurden die Kälber in Allgemeinanästhesie verbracht, ein Elektrokardiogramm abgeleitet und ihnen 0,3 molare Salzsäurelösung infundiert. Mit beginnender Azidose kam es zu Tachykardien mit tiefer Q- und S-Kurve. Mit zunehmender Azidose sank die S-Zacke weiter ab, wurde somit deutlicher negativer und die Amplitude der T-Welle stieg an (Abbildung 4 F). Bei maximal erreichter Azidose kam es zum elektrischen Alternans (Abbildung 4 G), also einer sich von Herzschlag zu Herzschlag ändernden Amplitude, Weite und Morphologie der Komplexe, zur Bradykardie mit AV-Block zweiten Grades (2:1-Block) (Abbildung 4 H), komplettem AV-Block (Abbildung 4 J), ventrikulärer Asystolie (Abbildung 4 K) oder Sinustachykardie und schließlich zum Herzstillstand.

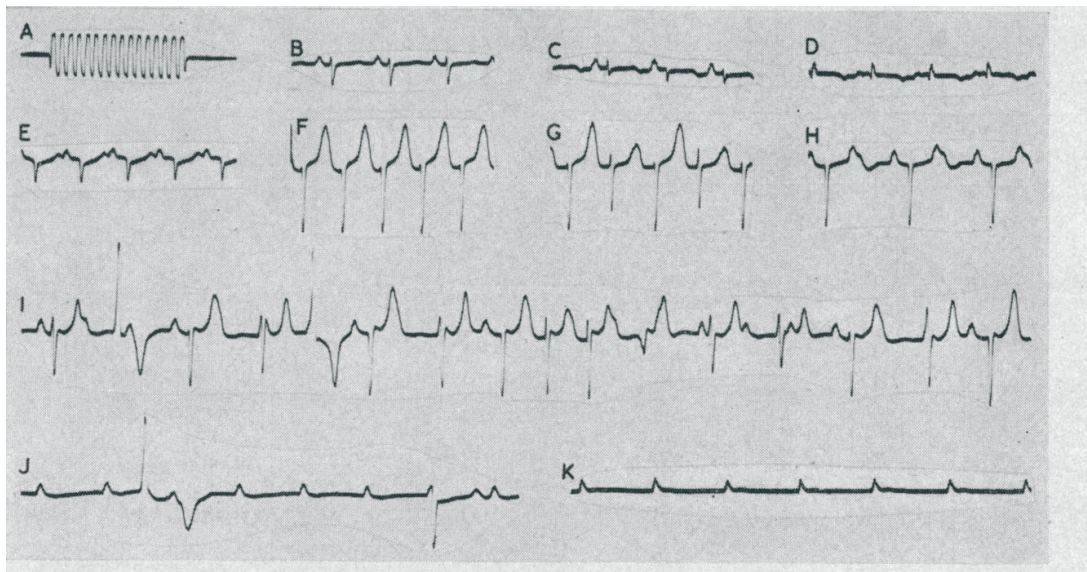


Abbildung 4: Typische Elektrokardiogrammbefunde von Kälbern nach Infusion 0,3 molarer Salzsäurelösung aus STEWART et al. (1965)

A = Standardisierung, B – D = Normalbefund, E = Sinustachykardie

F = tiefe S-Zacke und hohe T- Welle mit „P-auf-T“- Phänomen

G = elektrischer Alternans, H = AV-Block zweiten Grades (2:1-Block)

I = komplexer Rhythmus mit atrioventrikulärer Loslösung und Überlagerung, J = ventrikulärer Block mit teilweise idioventrikulärem Rhythmus, K = ventrikuläre Asystolie

Die zuvor beschriebenen EKG-Veränderungen bezeichneten die Autoren als typische Veränderungen, die im Verlauf der Säure-Infusion bei fast allen Tieren auftraten. Als untypische Veränderungen traten zudem bei wenigen Tieren Kammerflimmern und ein idioventrikulärer Rhythmus auf.

Einen ganz anderen Ansatz zum Thema Elektrokardiogrammveränderung bei Kälbern mit neonataler Diarrhoe verfolgten HASANPOUR et al. (2008) und TAJIK et al. (2010), indem sie versuchten Elektrokardiogrammveränderungen verschiedenen Erregern zuzuweisen.

HASANPOUR et al. (2008) leiteten Elektrokardiogramme bei mit *Theileria annulata* befallenen Rindern und Büffeln ab. Einige der Tiere wiesen Veränderungen im Elektrokardiogramm auf, darunter Vorhofextrasystolen, ventrikuläre Extrasystolen, Sinusarrhythmien und AV-Blöcke ersten Grades. Die Autoren mussten jedoch eingestehen, dass jede myokardiale Erkrankung solche Veränderungen im Elektrokardiogramm auslösen kann und die Veränderungen nicht ausschließlich auf die Theilerieninfektion zurückzuführen sind.

TAJIK et al. (2010) versuchten Unterschiede in den Elektrokardiogrammen von Kälbern zu finden, deren Diarrhoe durch eine Infektion mit Rota- und Coronaviren (Gruppe A) im Gegensatz zu Kälbern mit einer Infektion mit Rota- und Coronaviren und *Cryptosporidium parvum* (Gruppe B) bedingt war. Signifikante Unterschiede zeigten sich nur bei der Amplitude der P-Welle, der Amplitude der QRS-Komplexe und der Dauer der T-Welle. Hierbei ist jedoch fragwürdig, ob bei Gruppengrößen von zehn Tieren (Gruppe A) und acht Tieren (Gruppe B) die Veränderungen im Elektrokardiogramm aussagekräftig für die unterschiedlichen Krankheitsbilder sind.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Technische Ausrüstung

##### 3.1.1 Elektrokardiogramm

Die elektrokardiographischen Messungen wurden mit dem batteriebetriebenen, telemetrisch arbeitenden Televet 100 Gerät (Engel Engineering Service GmbH, Heusenstamm, Deutschland; Vertrieb: Selectavet, Weyarn-Holzolling) und den dazu gehörigen Patientenkabeln durchgeführt (Abbildung 5). Bei den verwendeten Elektroden handelt es sich um selbstklebende Einmalelektroden (SilverTRACE® ECG Electrodes Soft P55MO, Leonard Lang GmbH, Innsbruck, Österreich).



Abbildung 5: Televet 100 Gerät mit den zugehörigen Patientenkabeln, den selbstklebenden Einmalelektroden und der Nylontasche zur Befestigung am Patienten

Zur Befestigung des EKG-Gerätes am Kälberkörper über eine mitgelieferte Nylontasche diente ein elastischer, längenverstellbarer Deckengurt (Krämer Pferdesport, Hockenheim-Talhaus) (Abbildung 6).



Abbildung 6: Gesundes schwarz-buntes Bullenkalb, 3 Tage post natum während der EKG-Aufzeichnung

Die Übertragung der Daten erfolgte telemetrisch über Bluetooth-Übertragung unter Nutzung eines MSI 3xStar Key USB-Sticks (Mikro-Star Int'l Co., Ltd, Taipei Hsien, Taiwan) auf ein mit der Software Televet 100 Version 4.1.3 (Engel Engineering Service GmbH, Heusenstamm, Deutschland) ausgestattetes Notebook (Hewlett Packard), womit die Daten sowohl in Echt-Zeit dargestellt, als auch auf der Festplatte gespeichert werden konnten. Eine in das Gerät einbringbare 256 MB SD-Speicherkarte (Transcend Information Trading GmbH, Hamburg) ermöglichte eine Datenaufzeichnung bei Langzeitmessungen. Zur nachträglichen Datenübertragung von der SD-Karte auf das Notebook kam ein Kartenlesegerät (Hama GmbH & Co KG, Monheim) zum Einsatz.

### 3.1.2 Labordiagnostische Analysen

Die Blutproben wurden aus der *Vena jugularis* durch Einmal-Injektionskanülen (Sterican® 1.20 x 40 mm BC/SB 18G x 1½“, Braun, Melsungen) entnommen und mit Hilfe von 2 ml Arterial Blood Sampler-Spritzen (PICO50, Radiometer, Brønshøj, Dänemark) gesammelt. Die Blutprobenentnahme erfolgte im Rahmen der routinemäßigen labordiagnostischen Gesundheitsüberwachung der Kälber. Die Messungen der Blutproben, welche in der Klinik entnommen wurden, erfolgten so zügig wie möglich, maximal fünf Minuten nach Entnahme. Die Blutproben der Tiere im Heimatbestand wurden immer direkt vor Verlassen des Bestandes entnommen und per Auto direkt in die Klinik zur Messung gebracht. Da maximal ein neues Kalb pro Tag in die Messungen aufgenommen wurde, ergab sich für diese Proben eine Dauer von Entnahme bis Messung von maximal 20 Minuten. In dieser Zeit wurden

die Proben nicht speziell gekühlt. Gemessen wurde am Blutgasanalysegerät (ABL 800 Basic Analysator, Radiometer, Kopenhagen, Dänemark) und wurden mit Besitzernamen, laufender Nummer der Untersuchung, Kalb, venös und der momentanen rektal gemessenen Körpertemperatur des Patienten versehen und ausgedruckt. Zur Auswertung wurden der pH-Wert, Base excess, Hämatokrit, sowie die Konzentrationen von Natrium, Kalium, ionisiertem Calcium, Glucose und Laktat gemessen. Diese Werte wurden in Excel-Tabellen übertragen.

### 3.2 Probandenkollektiv

Den Untersuchungen lagen drei verschiedene Kälbergruppen zugrunde. In keiner dieser Gruppen wurde nach Geschlecht, Rasse, Haltungsform oder Fütterungsmanagement selektiert.

#### 3.2.1 Gesunde Kälber

Die 20 Kälber dieser Gruppe mussten aus Spontangeburt oder leichten, konservativen Geburtshilfen stammen und nicht älter als 24 Stunden sein, um in diese Gruppe aufgenommen zu werden. Sie durften keinerlei Abweichungen im klinischen segmentalen Untersuchungsgang am ersten Lebenstag aufweisen und möglichst keine Normabweichungen in einer venösen Blutprobe in den Parametern pH-Wert, Base excess, Hämatokrit, Natrium, Kalium, ionisiertes Calcium, Glucose und Laktat zeigen. Kälber mit leichten Abweichungen von den Referenzwerten, die ansonsten klinisch unauffällig waren, wurden in der Gruppe belassen. Die Referenzwerte für gesunde Kälber sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Labordiagnostische Referenzwerte für venöse Blutproben neonataler Kälber für die Parameter pH-Wert, Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) nach BERCHTHOLD et al. (1990)

Blutparameter	pH	ABE	Hct	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	Glu	Lac
Referenzwerte	7,36 - 7,46	-0,6 - 4,6 mmol/l	28 - 38 %	130 - 150 mmol/l	3,5 - 5,5 mmol/l	1,12 - 1,30 mmol/l	4,9 – 6,2 mmol/l	0,9 – 4,4 mmol/l

Um in dieser Gruppe zu bleiben, durften die Kälber in den ersten fünf Lebenstagen

keine Krankheiten entwickeln.

### 3.2.2 Kälber aus Kühen mit Dystokie

Die 20 Kälber dieser Gruppe stammten aus Kühen aus dem Patientengut der Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Groß- und Kleintiere mit Tierärztlicher Ambulanz der Justus-Liebig-Universität in Gießen (KGGA) mit dem Vorstellungsgrund Dystokie. Es wurden sowohl Kälber aus schweren konservativen Geburtshilfen als auch Kälber aus Kaiserschnitten in diese Gruppe aufgenommen.

### 3.2.3 Kälber mit neonataler Diarrhoe

Die 20 Kälber dieser Gruppe waren Patienten der KGGA, welche mit dem Leitsymptom neonatale Diarrhoe vorgestellt wurden. Die Ursache der Diarrhoe war für die Gruppenzugehörigkeit nicht relevant. Die Tiere mussten sich im Alter von 2 - 14 Tagen befinden und durften keinerlei medikamentöse Vorbehandlung durch den Besitzer oder den Haustierarzt erfahren haben. Zudem mussten sie in einer initialen venösen Blutgasanalyse eine deutliche metabolische Azidose mit einem Base excess von  $< -5$  aufweisen.

## 3.3 Untersuchungen

### 3.3.1 Allgemeinuntersuchung

Zur Allgemeinuntersuchung der Kälber gehören das Auszählen von Puls- und Atemfrequenz sowie die Messung der rektalen Körpertemperatur. Es folgt die Beurteilung des Allgemeinbefindens in einer Abstufung von ohne besonderen Befund, gestört und hochgradig gestört. Ein Kalb gilt als ungestört, wenn es an seiner Umgebung aufmerksam teilnimmt, das heißt auf äußere Reize, wie Licht, Geräusche oder Schmerz angemessen reagiert und bei Manipulation deutliche und gezielte Abwehrbewegungen zeigt. Das Allgemeinbefinden eines Kalbes gilt als gestört, wenn das Tier vermindert auf äußere Reize reagiert oder bei Manipulation verminderte Abwehrreaktionen zeigt. Als hochgradig gestört gilt das Allgemeinbefinden von Tieren, die keinerlei Reaktion auf ihre Außenwelt oder Manipulation zeigen. Daraufhin wird überprüft, ob das Stehvermögen des Kalbes erhalten, eingeschränkt vorhanden oder nicht vorhanden ist, das Kalb also festliegt. Bewertet wird des Weiteren der Entwicklungsgrad des Kalbes in hypotroph, eutroph



oder hypertroph, wobei das Geburtsgewicht im Verhältnis zur Trächtigkeitsdauer gesetzt wird. Ein Kalb gilt somit als hypotroph, wenn das Geburtsgewicht trotz einer Trächtigkeitsdauer von  $285 \pm 5$  Tagen deutlich zu niedrig ist und als hypertroph, wenn das Geburtsgewicht deutlich zu hoch ist. Hierauf folgend wird der Reifegrad bewertet, also ob es sich um ein prämaures oder maures Tier handelt. Als Prämauritätskennzeichen gelten nicht durchgebrochene Incisivi (I1 und I2 sollten bei der Geburt durchgebrochen sein), eine fetale Kopfform, kurzes seidiges Fell und fehlende Nabelbehaarung. Die Beurteilung des Ernährungs- und Pflegezustandes schließt die Allgemeinuntersuchung ab.

### 3.3.2 Segmentale Untersuchung

Bei der segmentalen Untersuchung werden die einzelnen Körperregionen des Kalbes genauer begutachtet. Begonnen wird am Kopf des Kalbes mit der Beurteilung der Kopfform, der Färbung der Kopfschleimhäute und der Auslösbarkeit der Kopreflexe, wie zum Beispiel Saug-, Lid-, Ohr- und Cornealreflex. Zudem werden die Lage der Bulbi in der Orbita, die Skleren und die Episkleralgefäße betrachtet und getestet ob das Kalb auf akustische Reize reagiert.

Zur Untersuchung von Hals und Thorax gehören die Beurteilung der Beweglichkeit des Kopfes, die Beurteilung der Schilddrüse und des Atemtypus. Daraufhin werden Herz und Lunge auskultiert, wobei auf pathologische Geräusche zu achten ist. Um eine Exsikkose zu erkennen, wird über dem Rippenbogen und dem oberen Augenlid eine Falte gezogen und beurteilt wie schnell diese verstreicht.

Bei der Untersuchung des Abdomens werden dessen Füllung, die Wölbung der Hungergruben, die Bauchdeckenspannung und der Nabel begutachtet und palpiert.

Im Anogenitalbereich ist auf das Vorhandensein der Afteranlage, die Kotkonsistenz und einen Tenesmus auf Kot zu achten.

Es werden die Gliedmaßenstellung, eine eventuell vorhandene Füllung der Gelenke der Gliedmaßen, sowie Oberflächen- und Tiefensensibilität beurteilt.

### 3.3.3 Untersuchung mittels Elektrokardiogramm

Es wurde ein elastischer Gurt mit dem daran befestigten Televet 100 Gerät zirkulär um den Thorax, direkt hinter den Schultergliedmaßen befestigt. Die Elektroden wurden nach Anleitung des Handbuch zum Televet 100 Gerätes unter dem Gurt auf das trockene, saubere Fell der Tiere aufgebracht (Tabelle 2), ohne diese vorher zu

scheren oder zu rasieren. Die Untersuchung mittels EKG wird in der Klinik standardmäßig zur Erfassung von Herzerkrankungen bei Neugeborenen eingesetzt.

Tabelle 2: Elektrodenplatzierung für die EKG–Messung am neonatalen Kalb

Elektrode	Elektrodenplatzierung (unter dem Gurt)
Grün	2 - 3 cm rechts des Sternums (circa 6. Intercostalraum)
Gelb	rechte Seite, 15 cm ventral der Tuberositae processi spinosi der Brustwirbel (circa 5. Intercostalraum)
Rot	linke Seite, 15 cm ventral der Tuberositae processi spinosi der Brustwirbel (circa 5. Intercostalraum)
schwarz	10 cm dorsal der roten Elektrode

Das Patienten­kabel wurde zuerst mit den Elektroden verbunden und dann in das Televet 100 Gerät gesteckt, wodurch die Aufzeichnung gestartet wurde. Nun konnte der korrekte Sitz der Elektroden durch eine über Bluetooth übertragene Echtzeit-Darstellung am Notebook kontrolliert werden. Die Betrachtung und gleichzeitige Aufzeichnung erfolgte in einer bipolaren Ableitung. Folgende Ableitungen zwischen den Elektroden wurden abgebildet und gleichzeitig aufgezeichnet:

- Ableitung I:        rot gegen gelb
- Ableitung II:      rot gegen grün
- Ableitung III:     gelb gegen grün

Zur Auswertung wurde die Ableitung II, eine Basis-Apex-Ableitung, herangezogen.

Jede Messung dauerte 15 Minuten. Danach wurden Gurt, Gerät und Patienten­kabel vom Kälberkörper entfernt. Die Elektroden wurden nach Möglichkeit auf dem Kälberkörper belassen um für die nächste Messung mit neuen Elektroden die vorangegangenen Messpunkte genau zu markieren und um Abweichungen am EKG aufgrund unterschiedlicher Elektrodenplatzierung zu verhindern.

#### 3.3.4            Gesunde Kälber

Bei den gesunden Kälbern wurde möglichst bald nach der Geburt, aber auf jeden Fall am ersten Lebenstag das erste EKG aufgenommen und danach eine venöse Blutprobe entnommen. Die weiteren Messungen erfolgten an den vier darauf folgenden Tagen in einem 24 Stunden-Abstand um Abweichungen im EKG aufgrund

einer anderen Tageszeit möglichst zu vermeiden. Bei jeder Messung wurde versucht, dem Tier, das sich gerade in der Messung befand, möglichst Ruhe zu verschaffen. Hierzu wurden die Tiere in ihrer gewohnten Umgebung im Heimatbestand belassen, nicht fixiert und keine Messung direkt vor oder während einer Fütterung vorgenommen, um stressbedingte EKG-Artefakte zu verhindern.

### 3.3.5 Kälber aus Kühen mit Dystokie

Bei Kälbern aus einer schweren konservativen Geburtshilfe oder einem Kaiserschnitt wurden direkt nach der Geburt zuerst alle Maßnahmen ergriffen, die zur Reanimation und Erstversorgung notwendig waren (Tabelle 3).

Tabelle 3: Maßnahmen zur Reanimation und Erstversorgung eines Kalbes im zeitlichen Ablauf

1	Absaugen von Fruchtwasser aus Nase und Maulhöhle a) mit Hilfe eines Saugkolbens mit Mundstück, welcher rein mechanisch durch Unterdruck den Schleim aus den Atemwegen zieht b) mit einer elektrischen Absaugpumpe, welche mit einem weichen Katheter verbunden ist, mit dem aus Nase und Mundhöhle des Kalbes Schleim abgesaugt werden kann
2	Anregung des Kreislaufes durch Massage des Brustkorbes mit sauberen Handtüchern
3	Injektion von Doxapramhydrochlorid (Doxapram-V, 0,5 - 1,3 mg/kg i. v., Albrecht GmbH, Aulendorf) falls keine Spontanatmung vorhanden ist
4	Versorgung des Nabels a) falls dieser zu kurz gerissen ist, wird die Haut mittels Manipler® AZ Hautklammergerät geklammert b) falls der Nabel normal gerissen ist, werden ca. 5 ml Jod (Alkoholische Jodlösung, WDT, Garbsen) in die Nabelscheide instilliert, wobei der dorsale Pol der Nabelscheide manuell verschlossen wird, damit kein Jod in die Bauchhöhle gelangt
5	Verabreichung von Sauerstoff unter einer Sauerstoffglocke, zur Unterstützung eines atemdepressiven Neonaten

Erst wenn das Kalb sicher außer Lebensgefahr war, eine segmentale klinische Untersuchung durchgeführt worden war und keine größeren Manipulationen mehr von Nöten waren, wurden eine venöse Blutprobe zur Überprüfung der labordiagnostischen Parameter aus der *Vena jugularis* entnommen und das erste EKG aufgezeichnet. Die weiteren Messungen fanden an den vier darauffolgenden Tagen im Abstand von 24 Stunden statt. Hatte die Geburt in der Nacht stattgefunden, wurden die folgenden Messungen in den darauffolgenden Abendstunden vorgenommen.

Da die Kälber oft vital waren und keiner weiteren Behandlung in der Klinik bedurften, wurden einige der Kälber dieser Gruppe vor dem fünften Lebenstag, also auch vor der fünften EKG-Messung in den Heimatbestand entlassen. Deshalb wurde festgelegt, dass alle Kälber mit mindestens zwei EKG-Messungen der Gruppe zugehörig bleiben.

#### 3.3.6 Kälber mit neonataler Diarrhoe

Kälber, die mit dem Leitsymptom der neonatalen Diarrhoe in die Klinik gebracht wurden, wurden zuerst segmental klinisch untersucht und dann eine venöse Blutprobe zur Überprüfung der labordiagnostischen Parameter entnommen. Die erste EKG-Aufzeichnung erfolgte vor jeglicher Therapie. Nach Beendigung der ersten EKG-Aufzeichnung wurden Gurt, Elektroden und Patientenkelabel am Kälberkörper belassen. Es wurde lediglich das Patientenkelabel vom Televet 100 Gerät getrennt, um die Aufzeichnung und Speicherung der ersten Aufzeichnung zu beenden. Durch dieses Vorgehen konnte sichergestellt werden, dass es zu keiner Veränderung in der zweiten EKG-Aufzeichnung durch anders gesetzte Elektroden kam. War die erste Messung beendet, wurde jedem Kalb Vitamin E-Selen (Vitamin-E-Selen-Lösung, 0,1 ml/kg s. c., cp-pharma, Burgdorf), die Vitamine A, D, E und C (Ursovit® AD3EC, 0,1 ml/kg s. c., Serumwerk Bernburg AG, Bernburg), Eisen (Belfer, 5mg/kg i. m., belapharm GmbH & Co. KG, Vechta) und B-Vitamine (Vitamin-B-Komplex pro inj., 0,1 – 0,3 ml/kg s. c., Serumwerk Bernburg AG, Bernburg) injiziert. Gegebenenfalls wurde es antibiotisch behandelt und mit der Infusionstherapie über einen Venenverweilkatheter in der *Vena jugularis* oder einer Ohrvene begonnen. Um Störungen im Säuren-Basen-Verhältnis auszugleichen bekamen die Kälber als erstes 8,4 %ige Natriumhydrogencarbonat-Lösung (Nabic 8,4% B. Braun Infusionslösung, B. Braun, Melsungen) infundiert. Die zu infundierende Menge berechnete sich nach

folgender Gleichung:

$$\text{Gewicht des Kalbes in kg} \times \text{Base excess in mmol/l} \times (-1) \times 0,5 = \text{ml Nabic 8,4\%}$$

Mussten Volumen über 250 ml 8,4 %ige Natriumhydrogencarbonat-Lösung infundiert werden, erfolgte dies in mindestens zwei Schritten im Abstand von zehn Minuten. Während dieser Zwischenzeit wurde den Kälbern 0,9%ige Kochsalzlösung (Isotonische Natriumchlorid-Lösung ad us. vet. B. Braun, B. Braun Vet Care GmbH, Tuttlingen), oder im Falle einer Hypoglycämie 5 %ige Glucoselösung (Glucose-Lösung 5 Prozent ad us. vet. B. Braun, B. Braun Vet Care GmbH, Tuttlingen) infundiert. Hatte das Kalb die errechnete Menge 8,4 %ige Natriumhydrogencarbonat-Lösung erhalten, frühestens jedoch eine Stunde nach Beginn der Infusionstherapie, wurde erneut venöses Blut für eine Blutgasanalyse entnommen, um den Erfolg der Therapie zu kontrollieren und das zweite EKG aufgezeichnet. An den vier darauffolgenden Tagen wurde im 24 Stunden-Abstand je eine Überprüfung der labordiagnostischen Parameter vorgenommen, um ein erneutes Entgleisen des Säure-Basen-Status zu detektieren, und ein EKG aufgezeichnet.

Einige Kälber erholten sich unter der Therapie sehr schnell und bedurften keiner fünf Tage Kliniksaufenthalt. Wenige andere, deren Krankheitsverlauf schon stark fortgeschritten war oder die außer der Diarrhoe noch an anderen Symptomen litten, sprachen nicht oder nicht ausreichend auf die Therapie an und mussten euthanasiert werden. Sowohl bei den gesund entlassenen Kälbern, als auch den euthanasierten Tieren blieben diejenigen in der Gruppe, bei denen mindestens vier EKG-Messungen durchgeführt worden waren.

#### 3.4. Datenbearbeitung

Nach beendeter Aufzeichnung wurden die auf der SD-Karte gespeicherten Daten des Elektrokardiogramms auf das Notebook transferiert und in die Televet 100 Software Version 4.3.1 importiert. Die Elektrokardiogramme der ersten, gesunden Gruppe wurden mit Besitzernamen, laufender Patientenummer, Nummer des EKG des Tieres, den letzten drei Stellen der Ohrmarke des Kalbes, sowie Datum und Uhrzeit versehen. Die EKGs der Tiere der Gruppen zwei und drei bekamen den Besitzernamen, die laufende Patientenummer, Nummer des EKG des Tieres, Kliniknummer, Datum und Uhrzeit als Bezeichnung. Die Datenarchivierung erfolgte

in der integrierten, alphabetisch angelegten Patientenverwaltung des Programms.

### 3.5 Auswertung

#### 3.5.1 EKG- Auswertung allgemein

Zuerst wurde die Herzfrequenz und im Anschluss das Auftreten von Arrhythmien untersucht. Hierzu wurde die Herzfrequenz im Bereich der 10. Minute und 15. Minute nach Beginn der Messung bestimmt. Die Aufzeichnung bis zur 5. Minute wurde nicht betrachtet, da in diesem Zeitraum bei manchen Kälbern eine erhöhte Herzfrequenz durch das Handling beim Anlegen der Elektroden und des Gurtes zu beobachten war. Nach maximal fünf Minuten hatten sich jedoch alle Kälber an die Messgeräte gewöhnt und beruhigt.

Zur Auswahl der Auswertungszeiträume wurde die komplette Aufzeichnung manuell durchgemustert und in den zuvor beschriebenen Zeiträumen nach EKG-Komplexbereichen gesucht, bei denen zehn aufeinander folgende EKG-Komplexe in allen drei Ableitungen ohne Artefakte vorlagen. Die Dauern der zehn zu messenden EKG-Abschnitte wurden mit der integrierten Televet 100 Software ausgemessen und der Mittelwert errechnet.

Um Arrhythmien genau zu spezifizieren, wurden folgende Komplexe genauer betrachtet, wie bei TILLEY (1989) beschrieben:

##### P-Welle:

Die P-Welle repräsentiert die Vorhofdepolarisation, ihre Dauer, die zur Erregungsleitung vom Sinusknoten zum Atrioventrikularknoten benötigte Zeit. In Abhängigkeit von der Ableitung kann die P-Welle positiv, gekerbt, biphasisch oder negativ sein. Die Beurteilung der P-Welle schließt auch eine Bestimmung der Regelmäßigkeit oder Unregelmäßigkeit der Vorhofaktivität ein. Zudem wird auf die Synchronität zu den QRS-Komplexen geachtet.

##### QRS-Komplex:

Der QRS-Komplex stellt die Kammerdepolarisation dar. Die Breite des QRS-Komplexes wird vom Beginn des ersten Ausschlags bis zum Ende des letzten Ausschlags des Komplexes gemessen. Die Tiefe der R-Zacke wird von der Nulllinie bis zur Spitze der R-Zacke, die Höhe der Q- und S-Zacke von der Nulllinie bis zur

jeweiligen Spitze gemessen. Gestalt, Gleichmäßigkeit und Regelmäßigkeit der QRS-Komplexe werden beschrieben.

#### T-Welle:

Die T-Welle ist der erste größere Ausschlag nach dem QRS-Komplex und stellt die Kammerrepolarisation dar. Die T-Welle kann je nach Ableitung positiv, gekerbt, negativ oder biphasisch sein.

#### P-Q-Intervall:

Das P-Q-Intervall stellt die zur Erregungsleitung vom Sinusknoten zu den Ventrikeln benötigte Zeit dar. Sie wird vom Beginn der P-Welle bis zum Beginn der Q-Zacke gemessen. Das P-Q-Intervall sollte von Komplex zu Komplex etwa gleich lang sein. Ist dies nicht der Fall könnte eine Arrhythmie oder Erregungsleitungsstörung für die Variation verantwortlich sein. Das P-Q-Intervall variiert mit der Herzschlagfrequenz: Je höher die Frequenz, desto kürzer ist die Erregungsleitungszeit durch die Vorhöfe und den AV-Knoten bis zum Hischen-Bündel.

#### Q-T- Intervall:

Das Q-T-Intervall wird vom Beginn der Q-Zacke bis zum Ende der T-Welle gemessen. Sie kennzeichnet die Zeitspanne von der Kammerdepolarisation bis zur Kammerrepolarisation während der Ventrikelsystole.

#### S-T-Strecke:

Die S-T-Strecke stellt das Zeitintervall vom Ende des QRS-Komplexes bis zum Beginn der T-Welle, d. h. die Frühphase der Kammerrepolarisation dar. Sie kann oberhalb (S-T-Hebung), unterhalb (S-T-Senkung) oder auf (isoelektrisch) der Nulllinie liegen.

### 3.5.2 EKG-Auswertung speziell im Rahmen dieser Arbeit

#### 3.5.2.1 Gesunde Kälber

Bei den gesunden Kälbern wurden die Dauern der Parameter P-Welle, QRS-Komplex, T-Welle, P-Q-Intervall, Q-T-Intervall, S-T-Strecke und die durchschnittliche Herzfrequenz zu Zeitpunkten im Bereich 10 Minuten und 15 Minuten nach Beginn

der Messung ausgemessen, beziehungsweise errechnet und für jeden Lebenstag ein Durchschnittswert ermittelt. Diese Werte dienten als Referenzwerte für den Vergleich mit den Kälbern der Gruppe 2 (Kälber aus Kühen mit Dystokie).

#### 3.5.2.2 Kälber aus Kühen mit Dystokie

Bei diesen Kälbern wurden ebenso die Dauern der Parameter P-Welle, QRS-Komplex, T-Welle, P-Q-Intervall, Q-T-Intervall, S-T-Strecke und die durchschnittliche Herzfrequenz ermittelt. Diese wurden dann mit den Werten der gesunden Kälber verglichen. Gab es Abweichungen von den Vergleichswerten, wurde versucht dies in Verbindung mit den Laborparametern oder klinischen Symptomen zu bringen.

#### 3.5.2.3 Kälber mit neonataler Diarrhoe

Die an neonataler Diarrhoe erkrankten Kälber wurden in unterschiedlichem Alter (2. - 14. Lebenstag) in der Klinik vorgestellt, sodass nicht die Vergleichswerte dieser Arbeit herangezogen werden konnten, sondern auf eine Studie von REZAKHANI et al. (2004) (Tabelle 4) zurückgegriffen werden musste. In der zuvor genannten Studie wurde zwar eine bipolare Basis-Apex Ableitung ähnlich dieser Studie genutzt, die Probanden waren aber mit einem bis vierzehn Jahren deutlich älter. Die EKG-Messungen der erkrankten, unbehandelten Kälber wurden in Zusammenhang mit den gleichzeitig gemessenen labordiagnostischen Werten gesetzt. Direkt nach der initialen Therapie wurde erneut ein EKG aufgezeichnet und eine Laboranalyse durchgeführt. Es wurden die beiden EKGs von vor und nach der initialen Behandlung miteinander verglichen. An den folgenden Tagen der Behandlung wurden die EKG- und labordiagnostischen Messwerte als Verlaufsdaten dokumentiert.



Tabelle 4: Durchschnittliche Dauern der P-Wellen, QRS- Komplexe, T-Wellen, P-R- Intervalle, Q-T-Intervalle in Sekunden bei 600 herzgesunden Holstein-Frisian Kühen bei einer durchschnittlichen Herzfrequenz von  $76 \pm 9$  Schlägen pro Minute nach REZAKHANI et al. (2004)

	Sekunden (min. – max.)
P- Welle	$0,08 \pm 0,01$ (0,05 – 0,12)
QRS-Komplex	$0,06 \pm 0,01$ (0,04 – 0,10)
T-Welle	$0,09 \pm 0,01$ (0,05 – 0,16)
P-R-Intervall	$0,20 \pm 0,02$ (0,12 – 0,26)
Q-T-Intervall	$0,37 \pm 0,03$ (0,22 – 0,48)

### 3.5.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. Dabei kam das Statistikprogrammpaket BMDP/Dynamic, Release 8.1 (Statistical Solutions Ltd.; Irland) zur Anwendung.

Die vorliegende Untersuchung hat den Charakter einer Beobachtungsstudie. Daher wird die statistische Auswertung der Daten im Sinne einer explorativen Analyse durchgeführt. Dies bedeutet, dass für die einzelnen statistischen Fragestellungen, seien es Gruppenvergleiche oder die Untersuchung von Korrelationen, jeweils das nominelle Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  verwendet wird. Angesichts der sehr hohen Anzahl von untersuchten Fragestellungen wird auf die exakte statistische Kontrolle der Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit erster Art verzichtet. Dies hat zur Konsequenz, dass die gefundenen Unterschiede oder Zusammenhänge im Sinne einer

statistischen Auffälligkeiten verstanden werden müssen.

#### 3.5.3.1 Gruppenvergleich zwischen Kälbern aus Spontangeburt mit Kälbern aus Schweregeburten

Beim Gruppenvergleich wurde bei der statistischen Auswertung zwischen einmalig erhobenen Parametern und Verlaufsdaten unterschieden.

Zu den einmalig erhobenen Parametern zählen die labordiagnostischen Messwerte, da diese bei beiden zu vergleichenden Gruppen nur am ersten Lebenstag gemessen wurden. Zur Auswertung wurde der t-Test, beziehungsweise der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test herangezogen. Des Weiteren erfolgte eine Korrelationsanalyse zwischen den labordiagnostischen Parametern, den Vitalparametern und den elektrokardiographischen Messwerten des ersten Lebenstages um einen möglichen Zusammenhang zwischen diesen zu detektieren.

Als Verlaufsdaten gelten diejenigen Parameter, welche im Laufe des Untersuchungszeitraumes täglich erhoben wurden. Hierzu zählen sowohl die elektrokardiographischen Parameter P-Wellen Dauer, QRS-Komplex Dauer, T-Wellen Dauer, P-Q-Intervall Dauer, Q-T-Intervall Dauer und S-T-Strecken Dauer, als auch die Vitalparameter Herzfrequenz, Atemfrequenz und Körpertemperatur. Die Auswertung dieser Verlaufsdaten erfolgte über eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich des Tages, beziehungsweise mit Hilfe des Wald-Tests auf Grund fehlender Werte. Untersucht wurden signifikante Veränderungen der Messwerte sowohl in Bezug auf die Zeit, als auch im Bezug zur Gruppenzugehörigkeit, als auch die Wechselwirkung zwischen Zeit und Gruppenzugehörigkeit.

#### 3.5.3.2 Verlaufsuntersuchungen der Kälber mit neonataler Diarrhoe

Zur Auswertung der Verlaufsdaten der Kälber mit neonataler Diarrhoe wurden eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich des Messzeitpunktes bis zum vierten Messzeitpunkt und aufgrund unvollständiger Daten bis zum sechsten Messzeitpunkt ein Wald-Test angewendet und deren Ergebnisse miteinander verglichen.

Des Weiteren wurde für jeden Messzeitpunkt eine Korrelationsanalyse zwischen labordiagnostischen Parametern, Vitalparametern und den elektrokardiographischen Messwerten erstellt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Probandenkollektiv

Es wurde von 20 gesunden neugeborenen Kälbern aus Spontangeburt oder leichter Geburtshilfe und 20 Kälbern aus Schweregeburten in den ersten fünf Lebenstagen je ein Elektrokardiogramm angefertigt. Da sieben Kälber aus Schweregeburten bereits am vierten Lebenstag und ein Kalb bereits am dritten Lebenstag aus der Klinik entlassen wurden, können aus diesen beiden Gruppen 191 Elektrokardiogramme zur Auswertung herangezogen werden.

In der Gruppe der 20 Kälber mit neonataler Diarrhoe standen 17 Tiere für fünf Tage den Messungen zur Verfügung, zwei Kälber wurden am vierten Tag nach Einlieferung bereits entlassen und eines am dritten Tag. Da diese Kälber am ersten Tag vor und nach Behandlung, also zwei Mal, gemessen wurden, stehen aus dieser Gruppe 116 Elektrokardiogramme der Auswertung zur Verfügung.

### 4.2 Neonaten aus Spontangeburt

#### 4.2.1 Klinische Untersuchung

Alle Neonaten aus Spontangeburt oder leichter Geburtshilfe waren lebensfrisch, matur und entwickelten sich in den ersten fünf Lebenstagen ohne Komplikationen oder Krankheitsanzeichen. Eine klinische Untersuchung und Erhebung der Vitalparameter Herzfrequenz, Atemfrequenz und Körperinnentemperatur (Tabelle 5) wurde nach jeder EKG-Messung bei jedem Kalb durchgeführt, da hierfür eine kurzzeitige Fixation des Kalbes notwendig war, was das Elektrokardiogramm beeinflussen hätte können.

Tabelle 5: Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur in °C (Temp.) der bovinen Neonaten (n = 20) aus Spontangeburt in den ersten fünf Lebenstagen

Alter	1. Tag p. n.	2. Tag p. n.	3. Tag p. n.	4. Tag p. n.	5. Tag p. n.
HF (min-max)	172 ± 16 (142 - 194)	149 ± 18 (114 - 179)	138 ± 16 (108 - 165)	123 ± 18 (98 - 157)	108 ± 15 (73 - 137)
AF (min-max)	60 ± 4 (52 - 68)	54 ± 5 (48 - 64)	50 ± 6 (44 - 60)	45 ± 5 (40 - 60)	41 ± 5 (36 - 52)
Temp. (min-max)	39,1 ± 0,2 (38,7 - 39,4)	38,8 ± 0,2 (38,5 - 39,1)	38,7 ± 0,1 (38,4 - 38,9)	38,5 ± 0,1 (38,4 - 38,8)	38,5 ± 0,1 (38,3 - 38,8)

#### 4.2.2 Labordiagnostik

Die labordiagnostischen Parameter sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Messwerte der Kälber (n = 20) aus Spontangeburt am ersten Lebenstag für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac)

pH	ABE (mmol/l)	Hct (%)	Na <sup>+</sup> (mmol/l)
7,392 ± 0,053 (7,296 - 7,539)	5,2 ± 2,0 (1,8 - 9,7)	32,1 ± 7,2 (22,1 - 45,9)	136 ± 2 (131 - 139)
K <sup>+</sup> (mmol/l)	Ca <sup>2+</sup> (mmol/l)	Glu (mmol/l)	Lac (mmol/l)
4,5 ± 0,4 (3,8 - 5,5)	1,27 ± 0,06 (1,17 - 1,38)	5,1 ± 1,6 (2,0 - 9,5)	3,2 ± 1,3 (1,1 - 6,4)

#### 4.2.3 Auswertung der Elektrokardiogramme

Die Messwerte für Dauern der P-Wellen, der QRS-Komplexe, der T-Wellen, der P-Q-Intervalle, der Q-T-Intervalle und S-T-Strecken sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Messwerte für die Dauern der EKG-Parameter P-Welle, QRS-Komplex, T-Welle, Q-T-Intervall, P-Q-Intervall und S-T-Strecke und der mittleren Herzfrequenz der Elektrokardiogramme der bovinen Neonaten (n = 20) aus Spontangeburt in den ersten fünf Lebenstagen in Millisekunden

Alter	1. Tag p. n.	2. Tag p. n.	3. Tag p. n.	4. Tag p. n.	5. Tag p. n.
P-Welle	72 ± 10	71 ± 9	73 ± 9	73 ± 7	76 ± 9
QRS-Komplex	53 ± 7	55 ± 7	57 ± 7	57 ± 7	57 ± 6
T-Welle	83 ± 8	88 ± 9	94 ± 9	99 ± 12	100 ± 9
Q-T-Intervall	212 ± 19	232 ± 21	239 ± 19	256 ± 20	270 ± 18
P-Q-Intervall	118 ± 14	120 ± 13	122 ± 13	129 ± 13	133 ± 16
S-T-Strecke	75 ± 18	88 ± 18	88 ± 21	100 ± 17	113 ± 16
Herzfrequenz	172 ± 16	149 ± 18	138 ± 16	123 ± 18	108 ± 15

Alle Kälber dieser Gruppe zeigten in allen Elektrokardiogrammen eine gleichmäßige und regelmäßige Herzaktion (Abbildung 7). Fünf Kälber zeigten bei der ersten Messung mit 162 – 194 Schlägen pro Minute eine Tachykardie (Herzfrequenz > 155 Schläge/Minute nach HELD et al. (1986)). Es kamen keine Arrhythmien vor.

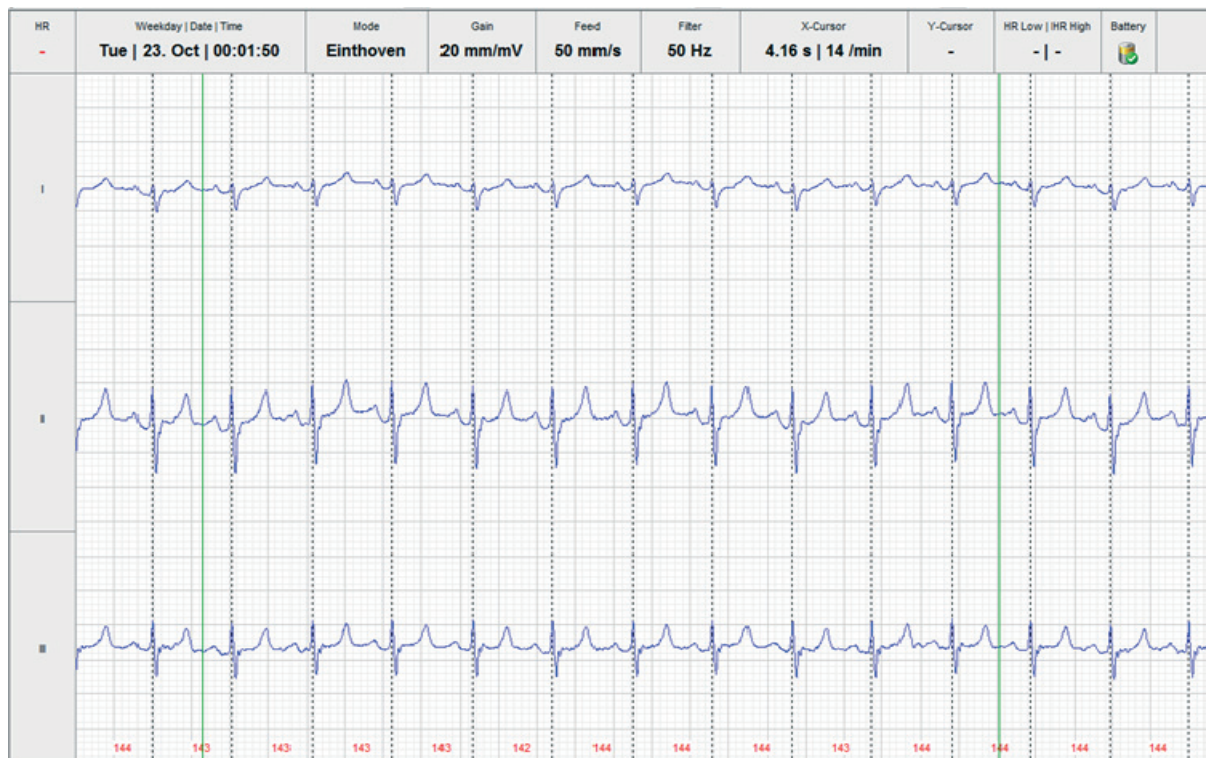


Abbildung 7: Gleichmäßiges und regelmäßiges Elektrokardiogramm eines gesunden Kalbes am ersten Lebenstag ohne Artefakte. Die grünen Markierungen grenzen den von Hand gewählten Auswertungszeitraum ein.

### 4.3 Neonaten aus Schweregeburten

#### 4.3.1 Klinische Untersuchung

Von den Neonaten aus Schweregeburten waren direkt nach der Geburt neun von 20 lebensfrisch, die restlichen elf vital depressiv, was sich meist in einer Atemstörung äußerte. Die Messung des ersten Elektrokardiogrammes und die Entnahme der Blutprobe fanden erst nach abgeschlossener Reanimation, an den stabilisierten Kälbern statt. Alle Kälber dieser Gruppe waren matur und entwickelten sich in den ersten fünf Lebenstagen ohne Komplikationen oder Krankheitsanzeichen. Die Vitalparameter der Kälber sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körperinnentemperatur in °C (Temp) der Neonaten aus Schweregeburten in den ersten fünf Lebenstagen

Alter	1. Tag p. n.	2. Tag p. n.	3. Tag p. n.	4. Tag p. n.	5. Tag p. n.
HF (min-max)	173 ± 16 (150 - 200)	155 ± 20 (120 - 188)	147 ± 13 (123 - 170)	143 ± 12 (118 - 169)	133 ± 15 (102 - 156)
AF (min-max)	59 ± 4 (52 – 68)	53 ± 4 (48 – 64)	49 ± 4 (40 – 56)	47 ± 3 (44 – 52)	44 ± 4 (36 – 48)
Temp. (min-max)	39,1 ± 0,2 (38,9 - 39,4)	38,9 ± 0,2 (38,7 - 39,4)	38,7 ± 0,1 (38,5 - 39,0)	38,6 ± 0,1 (38,4 - 38,9)	38,5 ± 0,1 (38,4 - 38,7)

#### 4.3.2 Labordiagnostik

Die labordiagnostischen Messwerte der Kälber aus Schweregeburten sind in Tabelle 9 aufgeführt.



Tabelle 9: Labordiagnostische Messwerte der Kälber aus Schweregeburten am ersten Lebenstag für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac)

pH	ABE (mmol/l)	Hct (%)	$\text{Na}^+$ (mmol/l)
7,295 ± 0,070 (7,157 - 7,397)	1,7 ± 4,8 (-6,6 - 13)	32,6 ± 4,9 (25,7 - 40,9)	137 ± 3 (132 - 143)
$\text{K}^+$ (mmol/l)	$\text{Ca}^{2+}$ (mmol/l)	Glu (mmol/l)	Lac (mmol/l)
4,2 ± 0,4 (3,4 - 5,0)	1,34 ± 0,05 (1,26 - 1,48)	5,2 ± 2,3 (2,5 - 11,7)	6,5 ± 3,0 (2,1 - 12,5)

#### 4.3.3 Auswertung der Elektrokardiogramme

Die Ergebnisse der Elektrokardiogramme der Neonaten aus Schweregeburten sind in Tabelle 10 aufgeführt. Neun Kälber zeigten bei der ersten Messung mit 163 – 200 Schlägen pro Minute eine Tachykardie (Herzfrequenz > 155 Schläge/Minute nach HELD et al. (1986)). Alle Kälber dieser Gruppe zeigten in allen Elektrokardiogrammen eine gleichmäßige und regelmäßige Herzaktion. Es kamen keine Arrhythmien vor.

Tabelle 10: Messwerte für die Dauer der EKG-Parameter P-Welle, QRS-Komplex, T-Welle, Q-T-Intervall, P-Q-Intervall und S-T-Strecke und der mittleren Herzfrequenz der Elektrokardiogramme der bovinen Neonaten (n = 20) aus Schweregeburten in den ersten fünf Lebenstagen in Millisekunden

Alter	1. Tag p. n.	2. Tag p. n.	3. Tag p. n.	4. Tag p. n.	5. Tag p. n.
P-Welle	57 ± 6	59 ± 7	62 ± 8	60 ± 6	62 ± 6
QRS-Komplex	47 ± 6	48 ± 5	49 ± 6	48 ± 5	47 ± 4
T-Welle	78 ± 10	82 ± 10	85 ± 9	86 ± 11	92 ± 10
Q-T-Intervall	212 ± 12	229 ± 18	234 ± 13	237 ± 13	245 ± 15
P-Q-Intervall	113 ± 13	113 ± 12	115 ± 16	115 ± 12	119 ± 15
S-T-Strecke	87 ± 14	99 ± 19	100 ± 15	102 ± 13	106 ± 15
Herzfrequenz	173 ± 16	155 ± 20	147 ± 13	143 ± 12	133 ± 15

#### 4.4 Gruppenvergleich zwischen den Kälbern aus Spontangeburt gegenüber den Kälbern aus Schweregeburten

##### 4.4.1 Vergleich von einmalig erhobenen Parametern

Zur Auswertung wurden der t-Test und der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test herangezogen. Signifikante Unterschiede der labordiagnostischen Messwerte gab es zwischen den Gruppen beim pH-Wert und dem Base excess. Hier lagen die Kälber aus Schweregeburten signifikant niedriger, wiesen somit im Gegensatz zur Vergleichsgruppe eine Azidose auf. Des Weiteren hatten Kälber aus Schweregeburten signifikant höhere Calcium- und Laktat-Werte (Tabelle 11).

Tabelle 11: Gruppenvergleich der labordiagnostischen Messwerte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) am ersten Lebenstag der Kälber aus Spontangeburt gegenüber den Kälbern aus Schweregeburten

	Mittelwerte und Standardabweichungen der Kälber aus		p-Wert	Signifikanz
	Spontangeburt	Schweregeburten		
pH	7,392 ± 0,05	7,295 ± 0,070	< 0,0001	signifikant
ABE	5,2 ± 2,0	1,7 ± 4,8	0,0056	signifikant
Hct	32,1 ± 7,2	32,6 ± 4,9	0,7936	n. s.
Na <sup>+</sup>	136 ± 2	137 ± 3	0,1224	n. s.
K <sup>+</sup>	4,5 ± 0,4	4,2 ± 0,4	0,0544	n. s.
Ca <sup>2+</sup>	1,27 ± 0,06	1,34 ± 0,05	0,0004	signifikant
Glu	5,1 ± 1,6	5,2 ± 2,3	0,7964	n. s.
Lac	3,2 ± 1,3	6,5 ± 3,0	0,0001	signifikant

#### 4.4.2 Vergleich der Verlaufsdaten

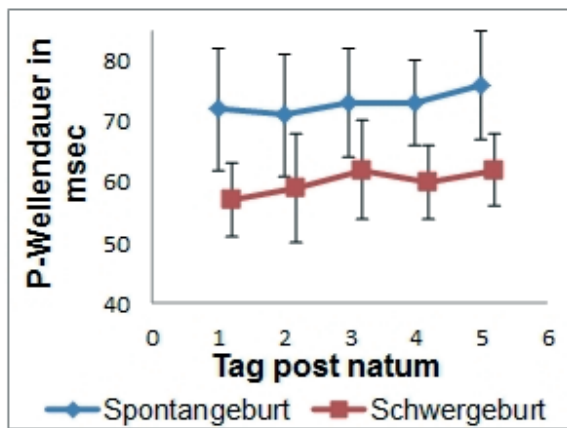
Untersucht wurden signifikante Veränderungen der Messwerte sowohl in Bezug auf die Zeit, als auch im Bezug zur Gruppenzugehörigkeit sowie die Wechselwirkung zwischen Zeit und Gruppenzugehörigkeit.

Als Ergebnis der zweifaktoriellen Varianzanalyse ist aus Tabelle 12 zu erkennen, dass immer eine signifikante Veränderung über die Zeit zu erkennen ist. Zudem ist zu erkennen, dass bei allen Parametern außer S-T-Strecken Dauer, Atemfrequenz und Körpertemperatur ein Gruppeneffekt zu verzeichnen ist, also ein Unterschied bei diesen Parametern zwischen Kälbern aus Spontangeburt und Kälbern aus Schweregeburten besteht. Wechselwirkungen zwischen Gruppe und Zeit liegen nur bei Q-T-Intervall Dauer, S-T-Strecken Dauer und Herzfrequenz vor. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 8 a) – i) als Verlaufskurven über die einzelnen Messzeitpunkte graphisch dargestellt.

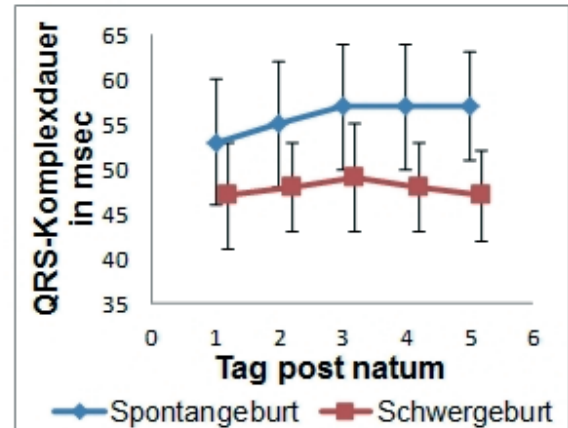
Tabelle 12: Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung bzgl. des Tages in Form des Wald-Testes für die Verlaufsdaten P-Wellen-Dauer (PDau), QRS-Komplex-Dauer (QRSDau), T-Wellen (TDau), Q-T-Intervall (QTDau), P-Q-Intervall (PQDau), S-T-Strecke (STDau), Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körperinnentemperatur (Temp) zum Vergleich der Gruppen (Spontangeburt und Schweregeburt) und Beobachtungszeitpunkte mit Signifikanzangabe (n. s. = nicht signifikant; s. = signifikant)

Variable	Haupteffekte (p-Wert)		Wechselwirkung (p-Wert) Gruppe x Zeit
	Gruppe	Zeit	
PDau	< 0,0001 (s.)	< 0,0001 (s.)	0,1887 (n. s.)
QRSDau	< 0,0001 (s.)	< 0,0191 (s.)	0,1845 (n.s.)
TDau	0,0001 ( s.)	< 0,0001 (s.)	0,2730 (n. s.)
QTDau	0,0062 (s.)	< 0,0001 (s.)	0,0003 ( s.)
PQDau	0,0060 (s.)	< 0,0001 (s.)	0,2462 (n. s.)
STDau	0,1465 (n. s.)	< 0,0001 (s.)	0,0037 ( s.)
HF	0,0017 (s.)	< 0,0001 (s.)	0,0004 (s.)
AF	0,9357 (n. s.)	< 0,0001 (s.)	0,0247 (n. s.)
Temp	0,6649 (n. s.)	< 0,0001 (s.)	0,4523 (n. s.)

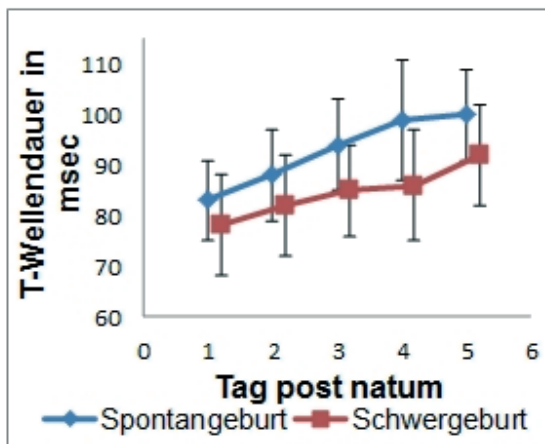
a)



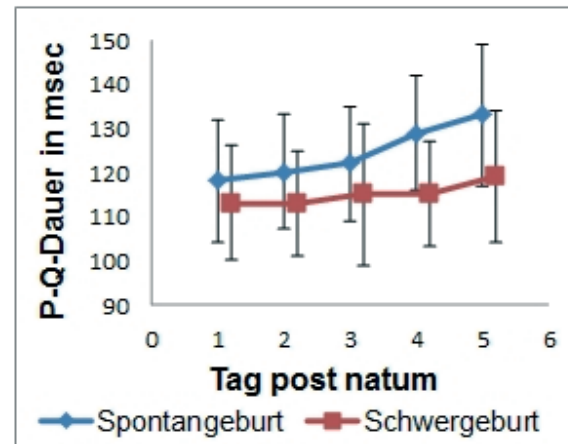
b)



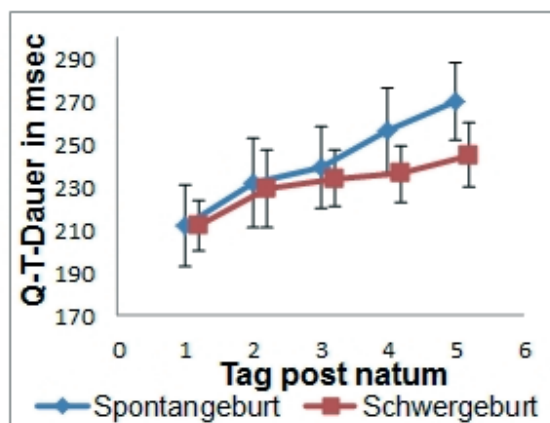
c)



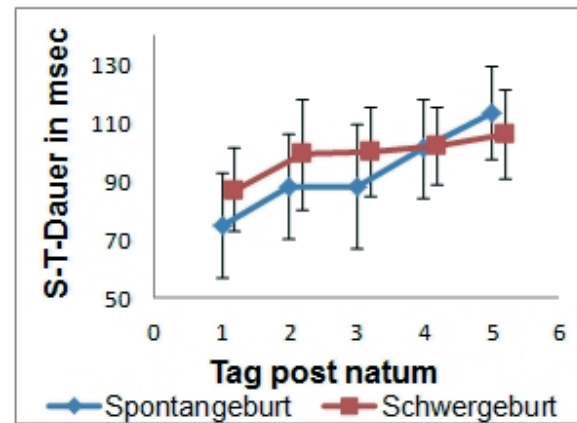
d)



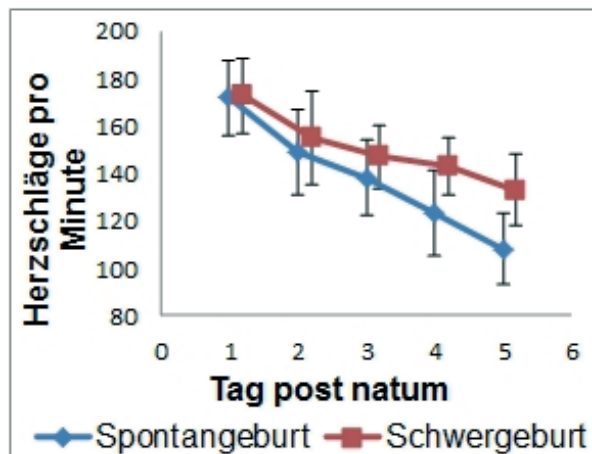
e)



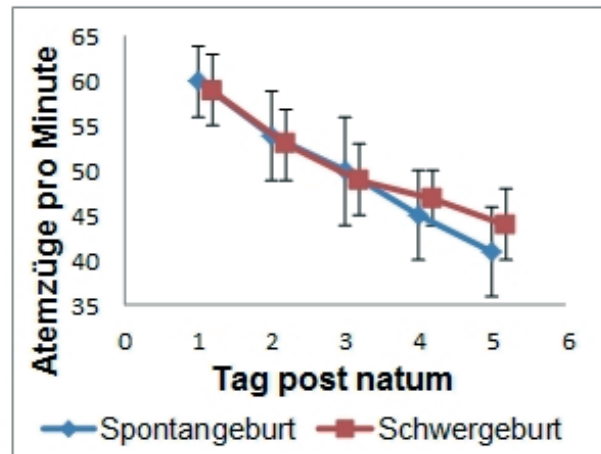
f)



g)



h)



i)

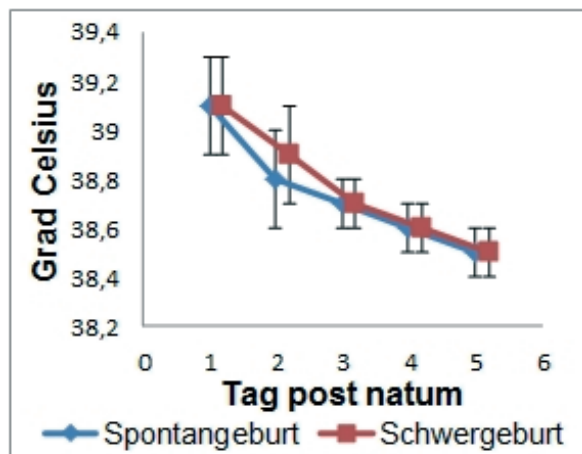


Abbildung 8: Verlaufskurven der Kälber aus Spontangeburt und Schwereburten:  
a) P-Wellen Dauer, b) QRS-Komplex Dauer, c) T-Wellen Dauer,  
d ) P-Q-Intervall Dauer, e) Q-T-Intervall Dauer, f) S-T-Strecken Dauer,  
g ) Herzfrequenz, h) Atemfrequenz, i) Körperinnentemperatur in den ersten fünf Lebenstagen

#### 4.4.3 Korrelationsanalyse

Um eine mögliche Korrelation zwischen den labordiagnostischen Messwerten und den elektrokardiographischen Parametern, beziehungsweise den Vitalparametern zu detektieren, wurden Korrelationsanalysen angefertigt. Sie sind in den Tabellen 13 und 14 mit Korrelationskoeffizient und p-Wert aufgeführt. Diese wurde nach Gruppen getrennt vorgenommen, da sowohl die labordiagnostischen Messwerte als auch die EKG- und Vitalparameter zwischen den Gruppen deutlich differierten und somit eine gemeinsame Korrelationsanalyse die Ergebnisse verfälscht hätte.

Bei der Korrelationsanalyse der Kälber aus Spontangeburt gab es einen Unterschied von  $p \leq 0,05$  zwischen P-Wellen Dauer und pH-Wert, P-Wellen Dauer und Herzfrequenz, Körpertemperatur und Hämatokrit, Atemfrequenz und Blutglucose, Q-T-Intervall Dauer und Herzfrequenz, S-T-Strecken Dauer und Herzfrequenz, sowie bei T-Wellen Dauer und Körpertemperatur.

Bei der Korrelationsanalyse der Kälber aus Schweregeburten zeigte sich ein Unterschied von  $p \leq 0,05$  zwischen pH-Wert und Atemfrequenz, Base excess und Atemfrequenz, Q-T-Intervall Dauer und Kaliumionenkonzentration, Q-T-Intervall Dauer und Laktatkonzentration, Herzfrequenz und Laktatkonzentration, Atemfrequenz und Laktatkonzentration, Herzfrequenz und Q-T-Intervall Dauer, Herzfrequenz und S-T-Strecken Dauer, sowie Atemfrequenz und Q-T-Intervall Dauer.



Tabelle 13: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber aus Spontangeburt am ersten Tag post natum mit Korrelationskoeffizient / p-Wert

	pH	ABE	Hct	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Glu	Lac	HF	AF	Temp
PDau	-0,469 / 0,037	0,042 / 0,859	0,135 / 0,570	-0,209 / 0,378	-0,161 / 0,498	0,151 / 0,525	-0,130 / 0,586	0,127 / 0,595	0,508 / 0,022	0,102 / 0,670	-0,281 / 0,231
QRS Dau	0,174 / 0,462	0,258 / 0,252	0,127 / 0,594	-0,300 / 0,198	-0,191 / 0,421	-0,091 / 0,701	0,150 / 0,528	-0,276 / 0,238	0,133 / 0,575	0,006 / 0,980	0,050 / 0,834
TDau	-0,407 / 0,075	-0,164 / 0,489	0,214 / 0,364	-0,266 / 0,257	-0,022 / 0,925	0,065 / 0,785	-0,130 / 0,584	0,192 / 0,416	0,389 / 0,090	-0,092 / 0,700	-0,485 / 0,030
PQDau	-0,191 / 0,421	0,132 / 0,578	0,193 / 0,415	0,231 / 0,326	0,291 / 0,354	-0,314 / 0,177	-0,333 / 0,152	0,392 / 0,088	-0,201 / 0,396	-0,224 / 0,343	-0,152 / 0,523
QTDau	0,116 / 0,626	0,142 / 0,549	0,125 / 0,600	-0,210 / 0,374	0,143 / 0,546	-0,127 / 0,594	0,176 / 0,457	-0,155 / 0,630	-0,497 / 0,026	-0,176 / 0,458	-0,021 / 0,930
STDau	0,245 / 0,298	0,129 / 0,588	-0,016 / 0,946	0,016 / 0,948	0,230 / 0,328	-0,128 / 0,589	0,189 / 0,426	-0,106 / 0,656	-0,747 / <0,001	-0,143 / 0,548	0,184 / 0,437
HF	-0,056 / 0,816	-0,041 / 0,863	0,146 / 0,538	-0,317 / 0,173	-0,156 / 0,512	0,123 / 0,606	0,090 / 0,706	0,026 / 0,913			
AF	-0,104 / 0,663	0,184 / 0,437	-0,210 / 0,373	-0,148 / 0,533	0,271 / 0,247	0,365 / 0,114	0,451 / 0,046	-0,086 / 0,719			
Temp	0,258 / 0,272	0,332 / 0,153	-0,543 / 0,013	0,262 / 0,265	-0,339 / 0,144	0,087 / 0,717	0,200 / 0,398	-0,404 / 0,077			

Tabelle 14: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber aus Schweregeburten am ersten Tag post natum mit Korrelationskoeffizient / p-Wert

	pH	ABE	Hct	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	Glu	Lac	HF	AF	Temp
PDau	-0,213 / 0,368	-0,105 / 0,658	-0,062 / 0,794	-0,048 / 0,840	-0,056 / 0,814	-0,147 / 0,536	0,051 / 0,831	0,111 / 0,641	-0,148 / 0,533	0,187 / 0,430	0,010 / 0,967
QRS Dau	0,102 / 0,669	0,117 / 0,624	-0,120 / 0,616	0,010 / 0,965	0,091 / 0,704	-0,200 / 0,397	-0,148 / 0,535	-0,270 / 0,251	-0,318 / 0,172	-0,059 / 0,805	0,114 / 0,631
TDau	-0,136 / 0,568	0,018 / 0,940	-0,072 / 0,763	-0,386 / 0,093	0,139 / 0,560	-0,348 / 0,133	0,254 / 0,279	0,075 / 0,754	0,036 / 0,880	0,041 / 0,865	-0,129 / 0,589
PQDau	0,237 / 0,315	0,076 / 0,751	0,049 / 0,838	0,119 / 0,618	-0,163 / 0,491	-0,060 / 0,802	0,004 / 0,987	-0,131 / 0,582	-0,402 / 0,079	-0,337 / 0,146	0,260 / 0,268
QTDau	0,203 / 0,390	0,228 / 0,333	-0,266 / 0,257	0,064 / 0,789	0,464 / 0,040	0,018 / 0,914	-0,209 / 0,377	-0,467 / 0,038	-0,840 / <0,001	-0,532 / 0,016	-0,080 / 0,738
STDau	0,221 / 0,350	0,129 / 0,587	-0,122 / 0,608	0,314 / 0,177	0,249 / 0,291	0,331 / 0,154	-0,289 / 0,216	-0,330 / 0,155	-0,589 / 0,006	-0,440 / 0,052	-0,021 / 0,931
HF	-0,348 / 0,132	-0,273 / 0,244	0,198 / 0,404	-0,041 / 0,865	-0,384 / 0,094	0,154 / 0,516	0,100 / 0,675	0,574 / 0,008			
AF	-0,610 / 0,004	-0,448 / 0,048	0,165 / 0,486	0,160 / 0,501	-0,319 / 0,170	0,081 / 0,733	0,038 / 0,875	0,491 / 0,028			
Temp	-0,055 / 0,819	0,064 / 0,788	-0,005 / 0,983	0,149 / 0,529	-0,318 / 0,172	0,149 / 0,532	-0,015 / 0,950	0,094 / 0,692			

#### 4.5 Kälber mit neonataler Diarrhoe

##### 4.5.1 Klinische Untersuchung und Labordiagnostik

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der klinischen Untersuchung (Herzfrequenz, Atemfrequenz und Körperinnentemperatur) zu jeder EKG-Messung aufgeführt. Die labordiagnostischen Messwerte zu jeder Erfassung des Elektrokardiogrammes sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 15: Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur in °C (Temp.) der bovinen Neonaten (n = 20) mit neonataler Diarrhoe in den ersten fünf Tagen nach Einlieferung in die KGGA

	Tag der Einlieferung					
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	5. Messung	6. Messung
HF (min-max)	136 ± 22 (100 - 187)	137 ± 26 (67 - 176)	121 ± 25 (77 - 179)	118 ± 22 (82 - 167)	112 ± 22 (78 - 159)	97 ± 16 (76 - 126)
AF (min-max)	55 ± 9 (44 - 68)	56 ± 7 (40 - 68)	45 ± 5 (36 - 56)	42 ± 4 (36 - 48)	40 ± 3 (36 - 48)	38 ± 3 (32 - 44)
Temp. (min-max)	37,4±1,8 (34,2 - 39,7)	37,6±1,6 (34,9 - 39,8)	38,4±0,4 (37,6 - 38,9)	38,4 ± 0,3 (37,9 - 38,8)	38,3 ± 0,2 (37,7 - 38,8)	38,2 ± 0,3 (37,4 - 38,6)

Tabelle 16: Labordiagnostische Messwerte der Kälber mit neonataler Diarrhoe (n = 20) zu den jeweiligen Elektrokardiogrammen für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose und Laktat

	Tag der Einlieferung					
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	5. Messung	6. Messung
pH (min - max)	7,046 ± 0,165 (6,668 - 7,352)	7,333 ± 0,109 (7,017 - 7,493)	7,299 ± 0,084 (7,131 - 7,429)	7,349 ± 0,083 (7,105 - 7,472)	7,384 ± 0,056 (7,201 - 7,466)	7,373 ± 0,097 (7,036-7,461)
ABE (mmol/l) (min - max)	-19,1 ± 8,2 (-37,7 - -6,4)	2,4 ± 6,2 (-4,8 - 20,8)	-2,1 ± 6,4 (-16,1 - 5,9)	1,6 ± 6,7 (-13,4 - 11,3)	4,1 ± 5,0 (-8,5 - 11,6)	3,9 ± 7,3 (-21,6 - 11,4)
Hct (%) (min - max)	42,7 ± 9,3 (26,5 - 62,6)	31,4 ± 6,4 (20,1 - 43,3)	32,0 ± 6,4 (20,7 - 43,1)	31,5 ± 6,4 (21,1 - 46,2)	32,3 ± 6,5 (19,0 - 41,3)	31,4 ± 6,0 (19,3 - 39,1)
Na <sup>+</sup> (mmol/l) (min - max)	137 ± 7 (121 - 147)	147 ± 9 (133 - 169)	146 ± 9 (130 - 162)	140 ± 8 (127 - 159)	137 ± 7 (128 - 153)	136 ± 7 (127 - 156)

Fortsetzung Tabelle 16:

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	5. Messung	6. Messung
K <sup>+</sup> (mmol/l) (min - max)	5,6 ± 1,4 (3,1 - 8,1)	4,2 ± 0,9 (2,4 - 6,0)	3,9 ± 0,6 (2,3 - 4,8)	4,0 ± 0,6 (2,6 - 5,2)	4,2 ± 0,4 (3,3 - 4,9)	4,6 ± 0,6 (3,9 - 6,8)
ionisiertes Ca <sup>2+</sup> (mmol/l) (min - max)	1,42 ± 0,23 (1,11 - 1,92)	1,05 ± 0,10 (0,85 - 1,25)	1,25 ± 0,12 (0,91 - 1,46)	1,24 ± 0,09 (1,07 - 1,39)	1,25 ± 0,07 (1,13 - 1,40)	1,26 ± 0,07 (1,10 - 1,41)
Glucose (mmol/l) (min - max)	5,0 ± 2,3 (1,5 - 7,6)	11,6 ± 11,4 (2,6 - 40,0)	6,5 ± 4,7 (3,3 - 26,0)	5,0 ± 2,0 (1,5 - 11,3)	5,6 ± 3,0 (2,7 - 18,1)	6,3 ± 4,1 (3,7 - 22,0)
Laktat (mmol/l) (min - max)	5,7 ± 6,0 (0,3 - 20,0)	6,1 ± 5,4 (0,5 - 20,0)	2,5 ± 3,1 (0,4-11,4)	1,8 ± 2,3 (0,4 - 9,9)	1,7 ± 2,2 (0,4 - 9,8)	1,1 ± 0,9 (0,6 - 4,3)

#### 4.5.2 Auswertung der Elektrokardiogramme

Die Auswertung der Elektrokardiogramme der Kälber mit neonataler Diarrhoe ist in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Messwerte für die Dauer der EKG-Parameter P-Welle, QRS-Komplex, T-Welle, Q-T-Intervall, P-Q-Intervall und S-T-Strecke in Millisekunden und der mittleren Herzfrequenz in Schlägen pro Minute der Elektrokardiogramme der Kälber mit neonataler Diarrhoe in den ersten fünf Tagen der Behandlung

	Tag der Einlieferung					
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	5. Messung	6. Messung
P-Welle	58 ± 11	61 ± 11	59 ± 8	61 ± 6	62 ± 7	62 ± 6
QRS-Komplex	58 ± 10	54 ± 9	52 ± 6	52 ± 4	51 ± 5	51 ± 5
T-Welle	97 ± 26	90 ± 31	86 ± 16	87 ± 16	90 ± 19	91 ± 13
Q-T-Intervall	248 ± 37	267 ± 61	261 ± 29	263 ± 26	265 ± 27	281 ± 27
P-Q-Intervall	124 ± 26	116 ± 15	118 ± 17	123 ± 13	120 ± 11	128 ± 15
S-T-Strecke	98 ± 40	124 ± 39	123 ± 20	124 ± 21	129 ± 30	139 ± 33
Herzfrequenz	136 ± 22	137 ± 26	121 ± 25	118 ± 22	112 ± 22	97 ± 16

In dieser Gruppe wiesen bei der ersten Messung 17 von 20 Kälbern Veränderungen im Elektrokardiogramm auf. Folgende Veränderungen im Vergleich zu den Referenzwerten von REZAKHANI et al. (2004) konnten beobachtet werden: Bei fünf Kälbern lagen kürzere P-Wellen vor, bei einem Kalb längere (Abbildung 10), sieben Kälber wiesen eine Verkürzung des P-Q-Intervalls auf, drei Kälber eine Verkürzung des Q-T-Intervalls. Tachykardien mit einer Herzfrequenz > 155 Schlägen pro Minute traten bei drei Kälbern auf (Abbildung 9). Es gab ein Kalb mit elektrischem Alternans, einer sich von Schlag zu Schlag ändernder Morphologie des Elektrokardiogramms (Abbildung 11). Es traten bei drei Kälbern ventrikuläre Extrasystolen auf (Abbildung 12 + 13). Ein Kalb wies einen AV Stillstand mit sinuventrikulärer Leitung auf (Abbildung 14). Ein Kalb zeigte eine Sinusarrhythmie und ST-Hebung (Abbildung 15).

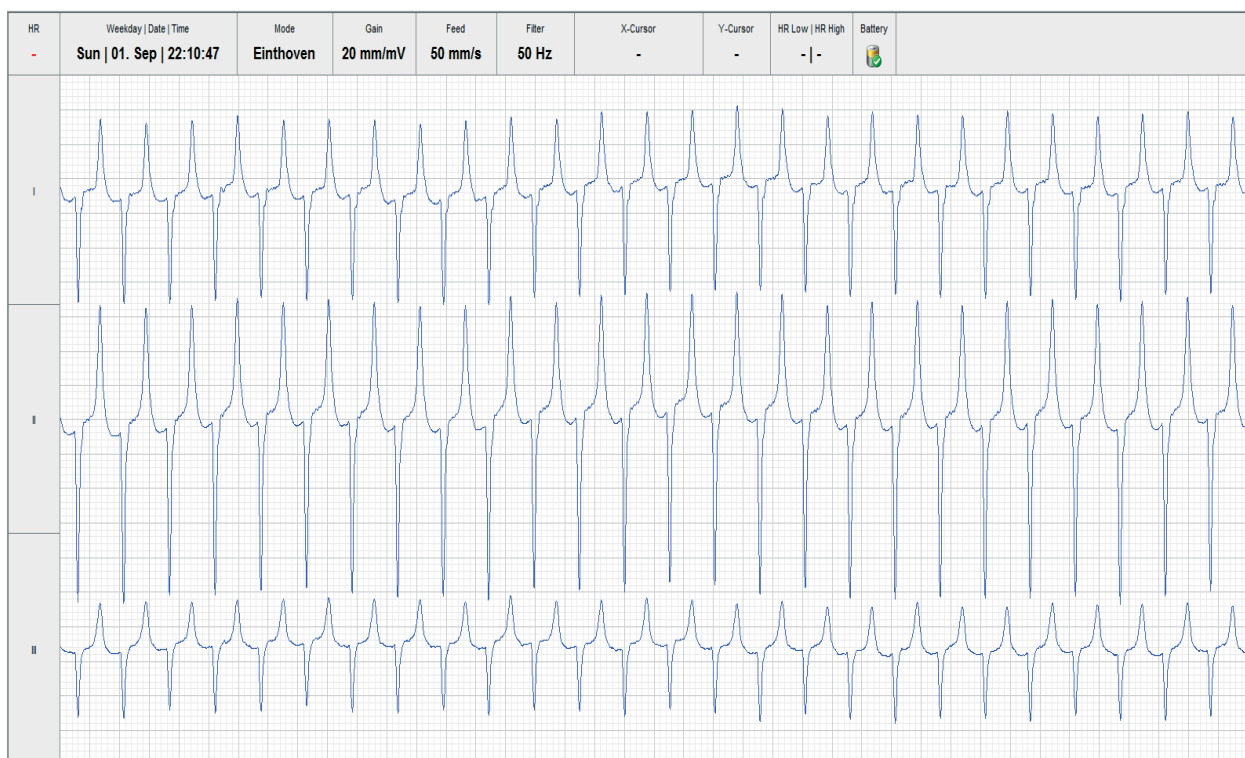


Abbildung 9: Kalb mit Diarrhoe im Alter von elf Tagen mit Tachykardie und „P auf T“-Phänomen





Abbildung 10: Kalb mit Diarrhoe im Alter von sechs Tagen mit verbreiterten P-Wellen



Abbildung 11: Kalb mit Diarrhoe im Alter von zwölf Tagen mit elektrischem Alternans



Abbildung 12 + 13: Kalb mit Diarrhoe im Alter von elf Tagen mit ventrikulären Extrasystolen

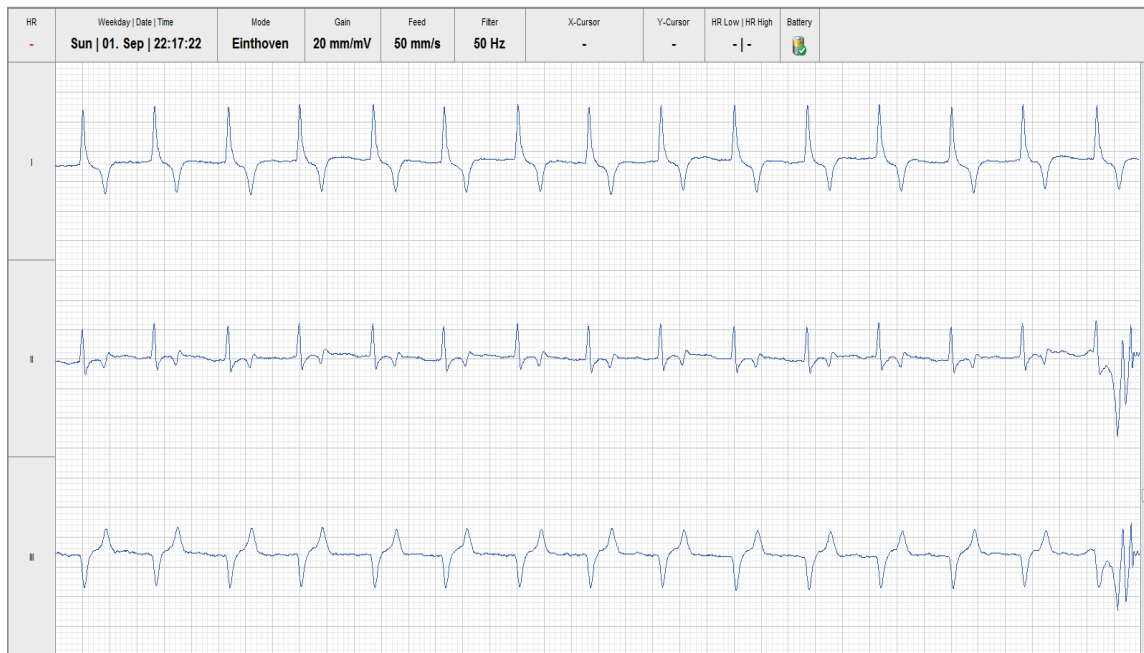


Abbildung 14: Kalb im Alter von zehn Tagen mit AV Stillstand mit sinuventrikulärer Leitung

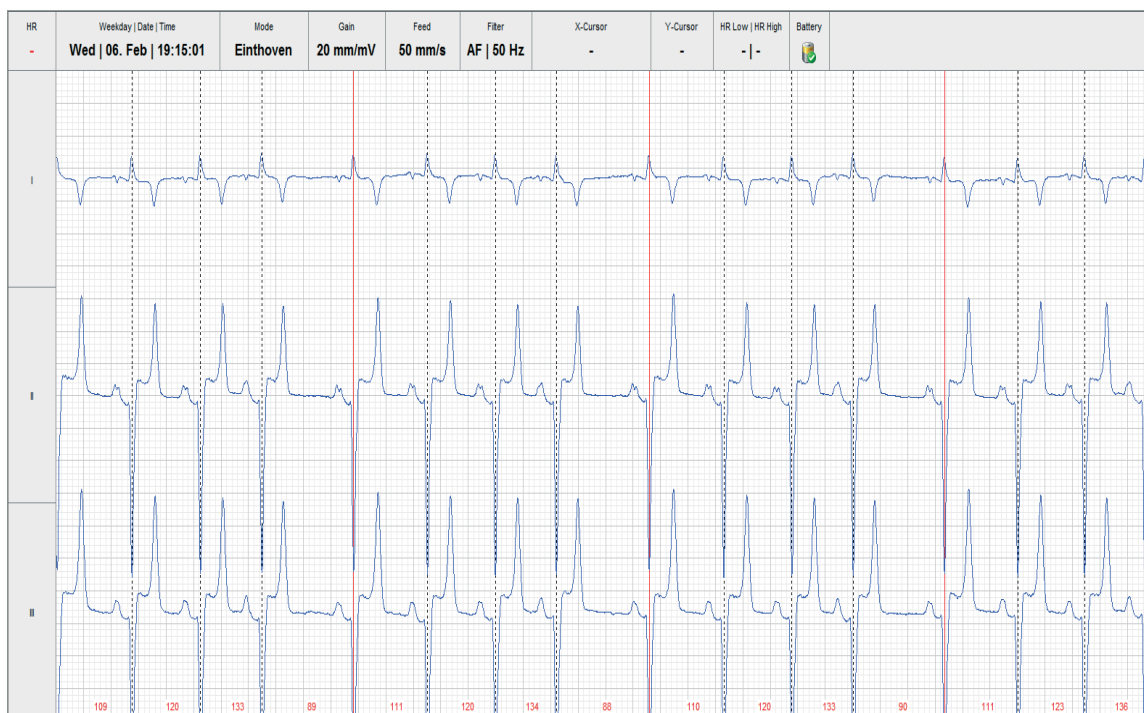


Abbildung 15: Kalb mit Diarrhoe im Alter von acht Tagen mit Sinusarrhythmie und ST-Hebung vor der Infusion

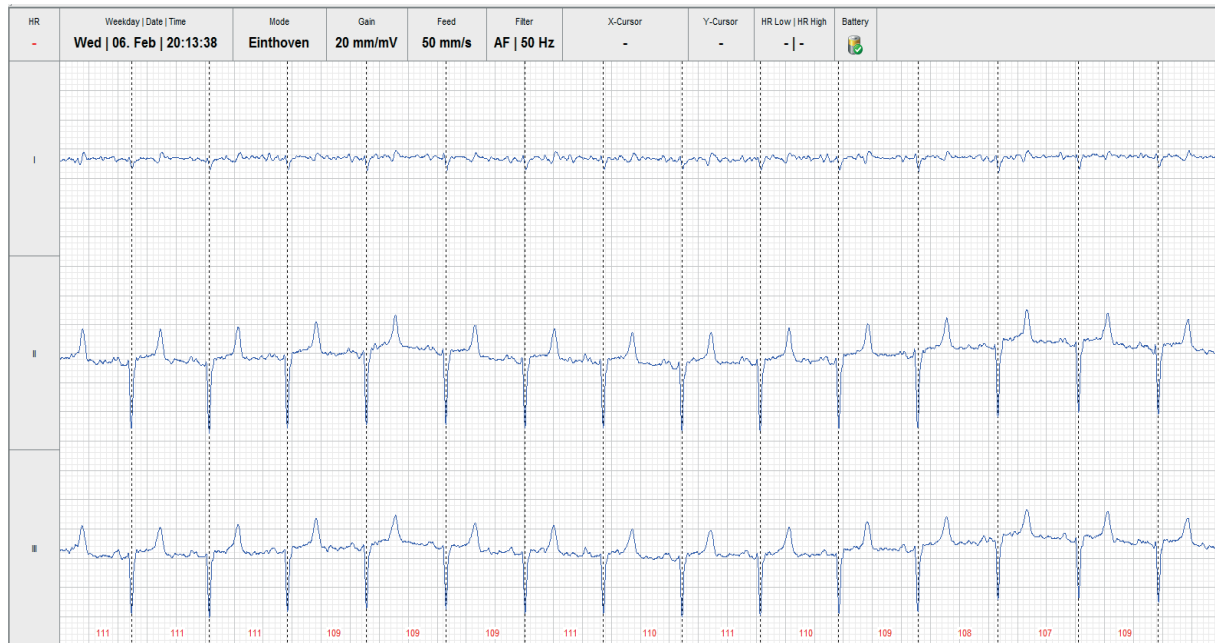


Abbildung 16: Das gleiche Kalb wie Abbildung 15 knapp eine Stunde nach initialer Infusion (die Abstände zwischen den P-Wellen sind wieder gleichmäßig)

Nach der initialen Infusionstherapie mit 8,4 % iger Natrium-Hydrogenkarbonat-Lösung normalisierte sich das Elektrokardiogramm bei zwölf der 17 Kälber, bei denen Veränderungen im ersten EKG aufgefallen waren (Abbildung 15 + 16). Bei den restlichen fünf Kälbern normalisierten sich die Elektrokardiogramme bei der dritten EKG-Messung.

#### 4.6 Verlaufsuntersuchungen der Kälber mit neonataler Diarrhoe

##### 4.6.1 Varianzanalyse

Da die Messdaten zweier Kälber für den sechsten Messzeitpunkt und die Daten eines Kalbes für den fünften und sechsten Messzeitpunkt nicht vorlagen, wurden zwei verschiedene Analysemethoden angewendet, um möglichst genaue Auswertungen zu erhalten. Bei der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich des Messzeitpunktes („according-to-protocol-analysis“) wurden alle Daten bis einschließlich des vierten Messzeitpunktes berücksichtigt, da die Daten bis dorthin vollständig vorlagen. Zudem wurde eine Varianzanalyse unter Anwendung des Wald-Tests durchgeführt („intention-to-treat-analysis“). Bei diesem

Test wird so vorgegangen, dass der fehlende Parameter so geschätzt wird, dass er sich in die Verteilung der vorhandenen Daten am plausibelsten einfügt.

Bei der direkten Gegenüberstellung der beiden Analysemethoden in Tabelle 18 ist zu erkennen, dass in Bezug auf die elektrokardiographischen Messwerte nur eine Abweichung beim Q-T-Intervall besteht. Bei den labordiagnostischen Messwerten besteht kein Unterschied zwischen den Ergebnissen der Analysemethoden.

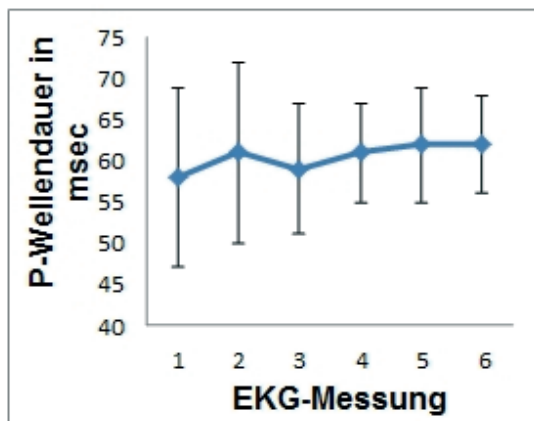
Aus Tabelle 18 ist ersichtlich, dass die P-Wellen-Dauer, die Dauer der T-Wellen und der P-Q-Intervalle, sowie die Dauer der Q-T-Intervalle bis zum 4. Messzeitpunkt keine signifikanten Veränderungen über den Zeitverlauf aufweisen. Somit sind diese elektrokardiographischen Messwerte unabhängig von der Erkrankung und Behandlung der neonatalen Diarrhoe.

Die Verläufe der einzelnen Untersuchungsparameter über die einzelnen Messzeitpunkte sind in Abbildung 17 a) - i) graphisch dargestellt.

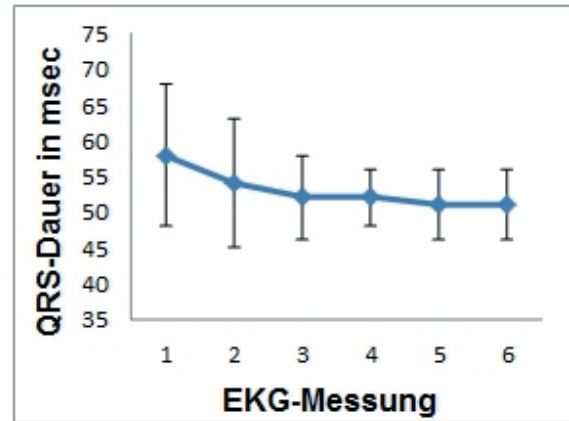
Tabelle 18: Vergleich der einfaktoriellen Varianzanalyse (EVA) mit Messwiederholung bezüglich des Messzeitpunktes bis Messzeitpunkt 4 mit dem Wald-Test wegen fehlender Werte bis Messzeitpunkt 6 der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRSDau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Streckendauer (STDau), der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) und der labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) der Kälber mit neonataler Diarrhoe. (s. = signifikant; n. s. = nicht signifikant)

Variable	EVA		Wald-Test	
	p-Wert	Signifikanz	p-Wert	Signifikanz
PDau	0,5366	n. s.	0,4024	n. s.
QRSDau	0,0124	s.	0,0021	s.
TDau	0,2961	n. s.	0,4862	n. s.
PQau	0,2183	n. s.	0,0682	n. s.
QTDau	0,2010	n. s.	0,0113	s.
STDau	0,0190	s.	0,0005	s.
HF	0,0004	s.	<0,0001	s.
AF	<0,0001	s.	<0,0001	s.
Temp	0,0012	s.	0,0001	s.
pH	<0,0001	s.	<0,0001	s.
ABE	<0,0001	s.	<0,0001	s.
Hct	<0,0001	s.	<0,0001	s.
$\text{Na}^+$	<0,0001	s.	<0,0001	s.
$\text{K}^+$	<0,0001	s.	<0,0001	s.
$\text{Ca}^{2+}$	<0,0001	s.	<0,0001	s.
Glu	0,0153	s.	0,0061	s.
Lac	<0,0001	s.	<0,0001	s.

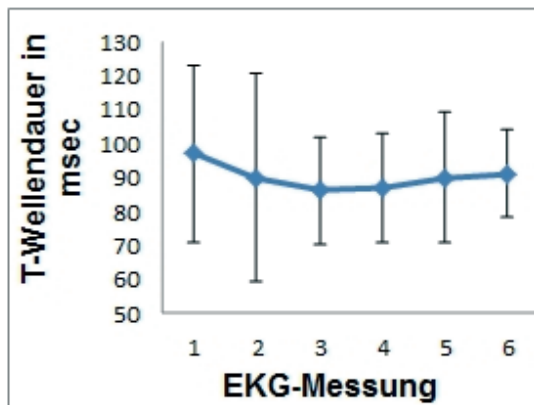
a)



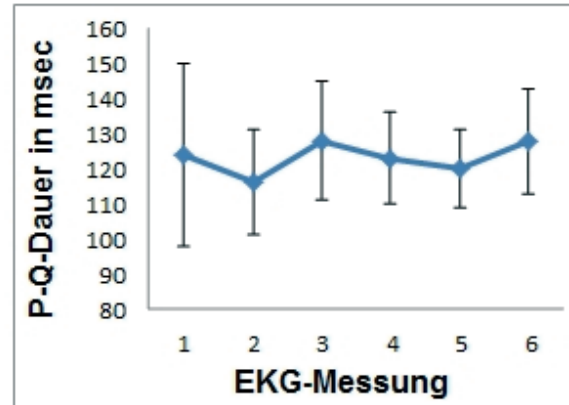
b)



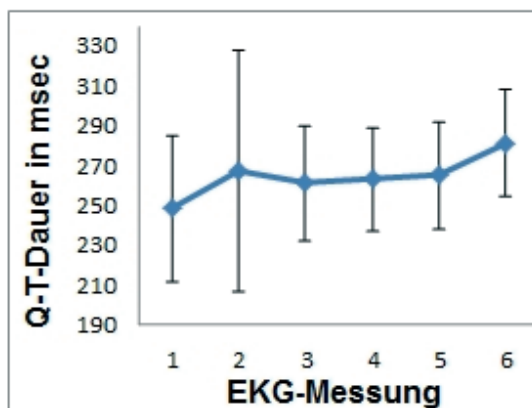
c)



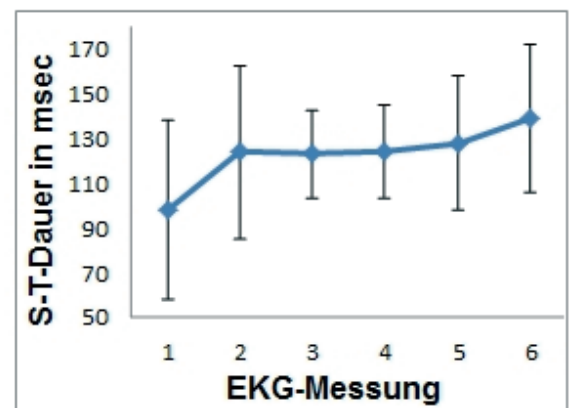
d)



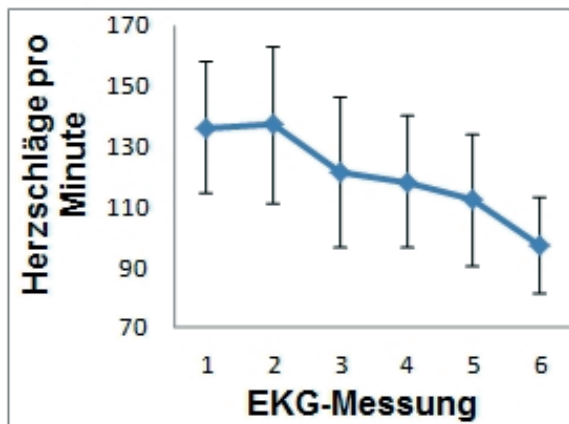
e)



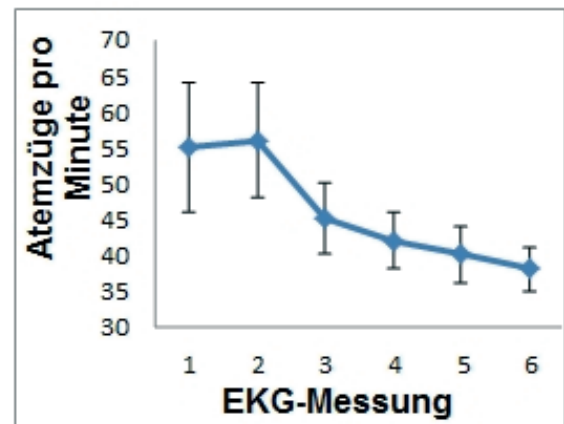
f)



g)



h)



i)

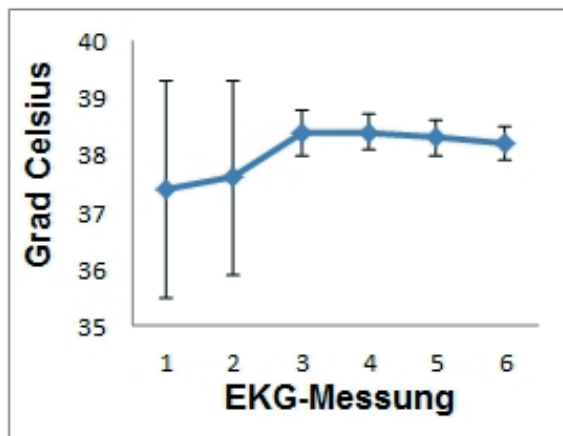


Abbildung 17: Verlaufskurven der Kälber mit neonataler Diarrhoe: a) P-Wellen Dauer, b) QRS-Komplex Dauer, c) T-Wellen Dauer, d) P-Q-Intervall Dauer,... e) Q-T-Intervall Dauer, f) S-T-Strecken Dauer, g) Herzfrequenz, ..... h) Atemfrequenz, i) Körpertemperatur während der Behandlung



#### 4.6.2 Korrelationsanalyse

Um zu analysieren, ob es vor und während der Behandlung der Kälber einen Zusammenhang zwischen den einzelnen labordiagnostischen Messwerten und den elektrokardiographischen Parametern, beziehungsweise den Vitalparametern gibt, wurde zu jedem Messzeitpunkt und für jeden Parameter eine Korrelationsanalyse angefertigt. Die Analyseergebnisse mit Korrelationskoeffizient und p-Wert sind in den Tabellen 19 bis 24 dargestellt und werden im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

P-Wellen Dauer: Vor der initialen Behandlung bestehen Korrelationen mit einem p-Wert  $\leq 0,05$  zum pH-Wert, Base excess, Hämatokrit und Herzfrequenz. Am zweiten Tag der Behandlung besteht eine deutliche Korrelation zur Laktatkonzentration. Weitere Korrelationen zeigen sich nicht.

QRS-Komplex Dauer: Vor der initialen Behandlung besteht eine deutliche Korrelation zu Base excess und Hämatokrit. Nach der initialen Behandlung zeigt sich eine deutliche Korrelation zur Calciumionenkonzentration. Am dritten Tag der Behandlung zeigt sich eine deutliche Korrelation zum pH-Wert. Am fünften Tag der Behandlung gibt es eine deutliche Korrelation zum Base excess.

T-Wellen Dauer: Vor der initialen Behandlung zeigen sich Korrelationen mit einem p-Wert  $\leq 0,05$  zu Hämatokrit und Natriumionenkonzentration. Nach der initialen Behandlung ist eine deutliche Korrelation zum pH-Wert zu erkennen. Am zweiten Behandlungstag zeigen sich deutliche Korrelationen zu Base excess, Natrium- und Kaliumionenkonzentration, sowie zu Herz- und Atemfrequenz. Am dritten Tag der Behandlung zeigen sich eindeutige Korrelationen zur Kaliumionenkonzentration und zur Herzfrequenz.

P-Q-Intervall Dauer: Vor der initialen Behandlung zeigt sich eine deutliche Korrelation zur Herzfrequenz. Nach der initialen Behandlung zeigen sich deutliche Korrelationen zur Kaliumionenkonzentration, sowie zu Herz- und Atemfrequenz. Am zweiten Behandlungstag weisen Calciumionen- und Laktatkonzentration eine deutliche Korrelation auf. Der dritte Behandlungstag zeigt deutliche Korrelationen zu Herzfrequenz und Körperinnentemperatur auf. Zur Körperinnentemperatur ist am fünften Tag der Behandlung wieder eine deutliche Korrelation zu erkennen.

Q-T-Intervall Dauer: Vor der initialen Behandlung zeigt sich eine sehr deutliche Korrelation zur Herzfrequenz und eine weitere zur Atemfrequenz. Nach der initialen Behandlung zeigen sich deutliche Korrelationen zur Kaliumionenkonzentration, zur Blutglucose und zur Herzfrequenz. Am zweiten Tag der Behandlung erkennt man eindeutige Korrelationen zu pH-Wert, zum Base excess, zur Natrium- und Kaliumionenkonzentration, sowie zur Herzfrequenz. Am dritten Behandlungstag gibt es deutliche Korrelationen zum Base excess, zur Kaliumionenkonzentration, zur Blutglucose, erneut zur Herzfrequenz und zur Körperinnentemperatur. Am vierten und fünften Behandlungstag und zeigt sich nur zur Herzfrequenz eine sehr deutliche Korrelation.

S-T-Strecken Dauer: Vor und nach der initialen Behandlung zeigen sich deutliche Korrelationen zur Blutglucosekonzentration und Herzfrequenz. Der zweite Tag der Behandlung zeigt deutliche Korrelationen zum pH-Wert, zum Base excess, zur Natrium- und Kaliumionenkonzentration und zur Herzfrequenz. Am dritten Behandlungstag zeigen sich deutliche Korrelationen zur Blutglucose, zur Herzfrequenz und zur Körperinnentemperatur. Am vierten Tag der Behandlung erkennt man deutliche Korrelationen zu Kaliumionenkonzentration und zur Herzfrequenz. Am fünften Behandlungstag besteht nur zur Herzfrequenz eine deutliche Korrelation

Herzfrequenz: Erst nach der initialen Behandlung zeigt sich eine Korrelation zur Kaliumionenkonzentration. Am dritten Tag der Behandlung erkennt man eine deutliche Korrelation zur Blutglucose.

Atemfrequenz: Zu keinem Messzeitpunkt zeigt die Atemfrequenz eine eindeutige Korrelation zu den labordiagnostischen Parametern.

Körperinnentemperatur: Vor der initialen Behandlung besteht eine deutliche Korrelation zum pH-Wert, Base excess und zur Calciumionenkonzentration. Am zweiten Tag der Behandlung ist eine eindeutige Korrelation zur Kaliumionenkonzentration zu erkennen. Diese tritt auch am dritten Behandlungstag zusammen mit einer deutlichen Korrelationen zu Base excess und Blutglucosekonzentration auf. Am vierten Tag der Behandlung zeigt sich eine deutliche Korrelation zur Natrium- und Kaliumionenkonzentration. Am fünften Tag der

Behandlung weisen Base excess und Blutglucosekonzentration eine eindeutige Korrelation auf.

Tabelle 19: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe vor der initialen Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert

	pH	ABE	Hct	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	Glu	Lac	HF	AF	Temp
PDau	-0,455 / 0,044	-0,520 / 0,019	0,525 / 0,018	-0,253 / 0,281	0,071 / 0,767	0,278 / 0,235	-0,036 / 0,880	0,157 / 0,510	-0,499 / 0,025	-0,192 / 0,416	-0,375 / 0,103
QRS Dau	-0,410 / 0,072	-0,483 / 0,031	0,513 / 0,021	-0,286 / 0,222	-0,065 / 0,786	0,233 / 0,323	0,279 / 0,233	-0,109 / 0,648	-0,399 / 0,082	0,037 / 0,876	-0,174 / 0,462
TDau	-0,332 / 0,153	-0,423 / 0,063	0,537 / 0,015	-0,539 / 0,014	-0,079 / 0,742	0,091 / 0,704	0,111 / 0,641	0,089 / 0,710	-0,344 / 0,138	-0,103 / 0,667	-0,328 / 0,158
PQDau	-0,320 / 0,169	-0,407 / 0,075	0,216 / 0,361	-0,164 / 0,489	-0,094 / 0,694	0,334 / 0,150	0,021 / 0,929	-0,163 / 0,492	-0,656 / 0,002	-0,168 / 0,478	-0,143 / 0,547
QTDau	-0,225 / 0,341	-0,352 / 0,128	0,396 / 0,084	0,043 / 0,856	-0,292 / 0,211	0,058 / 0,807	-0,343 / 0,139	0,081 / 0,734	-0,707 / <0,001	-0,455 / 0,044	-0,209 / 0,377
STDau	0,078 / 0,744	0,079 / 0,742	0,026 / 0,913	0,406 / 0,076	0,046 / 0,848	-0,121 / 0,610	-0,523 / 0,018	0,163 / 0,492	-0,459 / 0,042	-0,437 / 0,054	0,258 / 0,271
HF	0,274 / 0,294	0,318 / 0,172	-0,306 / 0,190	-0,117 / 0,623	0,0006 / 0,998	-0,251 / 0,286	-0,025 / 0,917	0,040 / 0,866			
AF	-0,181 / 0,444	-0,104 / 0,662	0,007 / 0,976	-0,120 / 0,616	0,182 / 0,443	0,200 / 0,399	0,280 / 0,233	-0,163 / 0,492			
Temp	0,651 / 0,002	0,713 / <0,001	-0,417 / 0,067	-0,108 / 0,650	-0,173 / 0,465	-0,624 / 0,002	-0,299 / 0,201	0,124 / 0,604			

Tabelle 20: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe nach der initialen Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert

	pH	ABE	Hct	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	Glu	Lac	HF	AF	Temp
PDau	0,366 / 0,112	0,094 / 0,693	0,168 / 0,478	0,131 / 0,582	-0,294 / 0,208	-0,412 / 0,071	0,187 / 0,430	0,201 / 0,396	-0,361 / 0,118	-0,238 / 0,312	-0,364 / 0,115
QRS Dau	0,337 / 0,146	0,037 / 0,876	0,262 / 0,264	0,343 / 0,139	-0,416 / 0,068	-0,559 / 0,010	0,239 / 0,310	-0,027 / 0,911	-0,319 / 0,171	0,029 / 0,903	-0,373 / 0,105
TDau	0,477 / 0,033	0,376 / 0,103	0,315 / 0,177	0,377 / 0,101	-0,418 / 0,067	-0,354 / 0,126	0,269 / 0,252	0,101 / 0,671	-0,355 / 0,125	-0,319 / 0,171	-0,420 / 0,065
PQDau	0,287 / 0,220	0,012 / 0,962	0,190 / 0,422	-0,198 / 0,403	-0,586 / 0,007	0,098 / 0,680	-0,034 / 0,888	-0,080 / 0,739	-0,518 / 0,019	-0,511 / 0,021	0,294 / 0,209
QTDau	0,100 / 0,676	-0,008 / 0,973	0,110 / 0,646	0,280 / 0,232	-0,487 / 0,029	-0,067 / 0,780	0,555 / 0,011	0,099 / 0,679	-0,666 / 0,001	-0,246 / 0,296	-0,351 / 0,130
STDau	-0,240 / 0,309	-0,275 / 0,241	-0,181 / 0,445	0,028 / 0,907	-0,242 / 0,303	0,225 / 0,339	0,520 / 0,019	0,142 / 0,552	-0,546 / 0,013	-0,083 / 0,729	-0,141 / 0,553
HF	-0,268 / 0,254	0,061 / 0,797	-0,056 / 0,815	0,053 / 0,825	0,567 / 0,009	-0,013 / 0,955	-0,245 / 0,298	0,312 / 0,181			
AF	-0,403 / 0,078	-0,114 / 0,631	0,118 / 0,622	0,161 / 0,498	0,435 / 0,055	-0,080 / 0,737	-0,008 / 0,972	0,119 / 0,616			
Temp	0,182 / 0,442	-0,034 / 0,887	-0,185 / 0,435	-0,414 / 0,070	-0,006 / 0,979	0,198 / 0,403	-0,132 / 0,580	0,055 / 0,818			

Tabelle 21: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe am zweiten Tag der Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert

	pH	ABE	Hct	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	Glu	Lac	HF	AF	Temp
PDau	0,143 / 0,547	-0,071 / 0,768	0,033 / 0,890	-0,181 / 0,444	-0,105 / 0,659	0,204 / 0,389	-0,353 / 0,127	-0,620 / 0,004	-0,198 / 0,403	-0,182 / 0,441	-0,067 / 0,778
QRS Dau	0,156 / 0,513	0,161 / 0,498	0,051 / 0,830	0,024 / 0,919	-0,123 / 0,606	-0,054 / 0,821	-0,170 / 0,473	0,136 / 0,567	0,054 / 0,822	-0,090 / 0,705	-0,0008 / 0,997
TDau	-0,378 / 0,100	-0,494 / 0,027	0,429 / 0,059	0,472 / 0,036	-0,514 / 0,021	0,188 / 0,428	-0,207 / 0,381	-0,267 / 0,256	-0,743 / <0,001	-0,510 / 0,022	-0,233 / 0,322
PQDau	-0,077 / 0,748	-0,375 / 0,103	0,015 / 0,951	0,015 / 0,949	-0,124 / 0,603	0,453 / 0,045	-0,320 / 0,169	-0,603 / 0,005	-0,401 / 0,080	-0,280 / 0,233	-0,107 / 0,655
QTDau	-0,532 / 0,016	-0,573 / 0,008	0,444 / 0,050	0,657 / 0,002	-0,687 / <0,001	0,037 / 0,876	-0,311 / 0,182	-0,230 / 0,330	-0,774 / <0,001	-0,335 / 0,148	-0,390 / 0,089
STDau	-0,502 / 0,024	-0,484 / 0,031	0,263 / 0,263	0,547 / 0,013	-0,492 / 0,027	-0,067 / 0,780	-0,256 / 0,275	-0,198 / 0,403	-0,560 / 0,010	-0,067 / 0,778	-0,312 / 0,180
HF	0,179 / 0,451	0,300 / 0,198	-0,195 / 0,409	-0,186 / 0,432	0,395 / 0,085	-0,104 / 0,663	0,372 / 0,106	0,296 / 0,205			
AF	-0,188 / 0,427	-0,150 / 0,529	-0,062 / 0,796	0,189 / 0,424	0,168 / 0,479	-0,037 / 0,878	-0,010 / 0,967	0,0006 / 0,998			
Temp	0,112 / 0,640	0,116 / 0,625	0,197 / 0,405	-0,076 / 0,749	0,686 / <0,001	-0,007 / 0,978	0,053 / 0,825	-0,048 / 0,842			

Tabelle 22: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe am dritten Tag der Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert

	pH	ABE	Hct	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Glu	Lac	HF	AF	Temp
PDau	0,132 / 0,580	0,056 / 0,813	0,274 / 0,243	-0,164 / 0,489	-0,161 / 0,498	0,003 / 0,990	-0,199 / 0,400	-0,313 / 0,180	-0,338 / 0,146	-0,204 / 0,389	-0,331 / 0,154
QRS Dau	-0,449 / 0,047	-0,320 / 0,168	0,230 / 0,329	0,278 / 0,236	-0,043 / 0,856	0,139 / 0,558	-0,228 / 0,335	0,166 / 0,483	-0,058 / 0,807	0,235 / 0,319	-0,246 / 0,297
TDau	-0,074 / 0,757	-0,154 / 0,516	0,238 / 0,312	0,360 / 0,119	-0,454 / 0,044	0,130 / 0,584	-0,228 / 0,333	-0,069 / 0,772	-0,548 / 0,012	-0,166 / 0,485	-0,263 / 0,262
PQDau	-0,111 / 0,642	-0,202 / 0,393	0,012 / 0,960	-0,077 / 0,746	-0,101 / 0,673	0,223 / 0,324	-0,282 / 0,228	-0,190 / 0,423	-0,549 / 0,012	-0,231 / 0,326	-0,458 / 0,042
QTDau	-0,329 / 0,157	-0,460 / 0,041	0,179 / 0,450	0,339 / 0,143	-0,619 / 0,004	0,110 / 0,645	-0,637 / 0,003	-0,132 / 0,579	-0,827 / <0,001	-0,366 / 0,112	-0,646 / 0,002
STDau	-0,281 / 0,230	-0,409 / 0,073	-0,018 / 0,940	0,094 / 0,693	-0,412 / 0,071	0,053 / 0,824	-0,569 / 0,009	-0,177 / 0,456	-0,572 / 0,008	-0,314 / 0,178	-0,506 / 0,023
HF	0,049 / 0,838	0,203 / 0,392	-0,006 / 0,918	-0,096 / 0,687	0,430 / 0,058	-0,191 / 0,420	0,483 / 0,031	0,306 / 0,189			
AF	-0,180 / 0,449	-0,135 / 0,569	-0,061 / 0,800	0,053 / 0,825	0,220 / 0,352	0,094 / 0,695	0,270 / 0,250	0,037 / 0,877			
Temp	0,374 / 0,105	0,470 / 0,037	-0,096 / 0,687	-0,240 / 0,308	0,525 / 0,018	-0,119 / 0,617	0,606 / 0,005	0,091 / 0,704			

Tabelle 23: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe am vierten Tag der Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert

	pH	ABE	Hct	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Glu	Lac	HF	AF	Temp
PDau	0,263 / 0,263	0,336 / 0,148	0,187 / 0,431	-0,042 / 0,860	0,157 / 0,507	0,205 / 0,386	0,148 / 0,533	0,019 / 0,938	0,014 / 0,953	-0,003 / 0,990	0,117 / 0,623
QRS Dau	0,273 / 0,243	0,049 / 0,838	0,036 / 0,881	-0,293 / 0,211	-0,296 / 0,205	-0,258 / 0,272	0,110 / 0,645	0,217 / 0,359	0,053 / 0,826	0,080 / 0,737	0,007 / 0,977
TDau	0,360 / 0,119	0,150 / 0,527	-0,063 / 0,791	-0,023 / 0,925	-0,340 / 0,142	-0,138 / 0,563	-0,122 / 0,607	-0,217 / 0,359	-0,411 / 0,072	-0,337 / 0,147	-0,300 / 0,198
PQDau	0,167 / 0,483	0,113 / 0,634	-0,108 / 0,651	-0,044 / 0,854	0,054 / 0,823	0,089 / 0,709	-0,028 / 0,907	-0,162 / 0,494	-0,328 / 0,158	0,042 / 0,859	-0,034 / 0,886
QTDau	0,036 / 0,881	-0,179 / 0,451	0,055 / 0,818	0,046 / 0,847	0,104 / 0,662	-0,156 / 0,512	-0,266 / 0,256	-0,216 / 0,361	-0,871 / <0,001	-0,194 / 0,413	-0,399 / 0,082
STDau	0,028 / 0,905	0,018 / 0,941	0,313 / 0,179	-0,086 / 0,719	0,492 / 0,027	-0,165 / 0,486	-0,074 / 0,755	0,270 / 0,249	-0,422 / 0,064	0,273 / 0,314	-0,023 / 0,924
HF	0,063 / 0,792	0,183 / 0,441	-0,033 / 0,889	-0,124 / 0,604	0,043 / 0,856	2x10 <sup>-7</sup> / 1,00	0,195 / 0,410	0,277 / 0,237			
AF	-0,183 / 0,441	-0,224 / 0,343	0,118 / 0,620	-0,165 / 0,486	0,320 / 0,170	-0,300 / 0,199	0,084 / 0,724	0,252 / 0,284			
Temp	0,381 / 0,098	0,384 / 0,095	-0,138 / 0,562	-0,453 / 0,045	0,459 / 0,042	-0,371 / 0,107	-0,277 / 0,238	0,104 / 0,663			



Tabelle 24: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe am fünften Tag der Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert

	pH	ABE	Hct	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	Glu	Lac	HF	AF	Temp
PDau	-0,366 / 0,149	0,018 / 0,945	0,014 / 0,959	-0,132 / 0,615	-0,349 / 0,170	0,125 / 0,632	-0,081 / 0,758	-0,053 / 0,839	0,131 / 0,615	0,009 / 0,972	-0,205 / 0,431
QRS Dau	-0,471 / 0,056	-0,503 / 0,040	0,149 / 0,568	0,258 / 0,318	0,188 / 0,470	0,009 / 0,974	0,427 / 0,087	0,334 / 0,190	0,032 / 0,903	0,132 / 0,614	-0,010 / 0,970
TDau	-0,131 / 0,617	-0,012 / 0,964	0,377 / 0,136	0,209 / 0,421	0,243 / 0,347	-0,243 / 0,346	0,037 / 0,888	0,159 / 0,542	0,136 / 0,604	-0,029 / 0,911	0,033 / 0,900
PQDau	-0,030 / 0,909	-0,078 / 0,766	-0,191 / 0,464	-0,120 / 0,645	-0,237 / 0,360	0,147 / 0,574	0,135 / 0,606	-0,080 / 0,761	-0,173 / 0,507	-0,069 / 0,792	-0,557 / 0,020
QTDau	-0,448 / 0,071	-0,319 / 0,213	0,016 / 0,951	0,259 / 0,316	0,146 / 0,577	0,062 / 0,814	0,246 / 0,341	0,012 / 0,963	-0,836 / <0,001	-0,304 / 0,235	-0,381 / 0,132
STDau	-0,245 / 0,344	-0,187 / 0,473	-0,157 / 0,548	0,087 / 0,739	-0,012 / 0,963	0,153 / 0,558	0,126 / 0,629	-0,099 / 0,705	-0,733 / <0,001	-0,251 / 0,332	-0,325 / 0,203
HF	0,251 / 0,332	0,019 / 0,941	-0,102 / 0,696	-0,097 / 0,710	-0,400 / 0,112	0,030 / 0,910	-0,020 / 0,940	0,154 / 0,554			
AF	-0,105 / 0,687	-0,391 / 0,121	0,315 / 0,218	-0,005 / 0,986	-0,411 / 0,102	-0,121 / 0,643	0,101 / 0,701	-0,110 / 0,675			
Temp	0,425 / 0,089	0,498 / 0,042	0,094 / 0,719	-0,454 / 0,067	0,131 / 0,617	-0,219 / 0,398	-0,632 / 0,006	-0,566 / 0,018			

### 5.1 Diskussion der Fragestellung

Die vorgelegte Untersuchung gliedert sich in zwei Abschnitte. Im ersten Teilabschnitt wurden die Elektrokardiogramme von Kälbern aus Spontangeburt oder leichter Geburtshilfe mit denen von Kälbern aus Schweregeburten in den ersten fünf Lebenstagen verglichen. Der zweite Teilabschnitt stellt eine Verlaufsuntersuchung von Kälbern mit neonataler Diarrhoe dar, die sowohl mit Hilfe des ambulanten Elektrokardiogrammes als auch labordiagnostisch im Verlauf der Behandlung überwacht wurden. Die Bedeutung dieser Fragestellung liegt grundsätzlich darin, die Möglichkeiten der Diagnostik beim Kalb zu verbessern sowie eine Methode zu etablieren und vorzustellen mit der verschiedene Therapieverfahren, z. B. Infusionsregime, in ihrer Auswirkung auf das Herz überprüft werden können.

#### 5.1.1 Vergleich von Kälbern aus Spontangeburt mit Kälbern aus Schweregeburten

Ein ambulantes Elektrokardiogramm wurde in der Buiatrik vereinzelt bei verschiedenen Indikationen eingesetzt. Zum einen zur nicht invasiven Diagnostik einer intakten Trächtigkeit (LINDAHL et al. 1968; TOO et al. 1966; LARKS et al. 1960), zur Feststellung einer Zwillingsträchtigkeit (KANAGAWA et al. 1965), zum anderen zur Vitalitätseinschätzung des bovinen Fetus intra partum (STEFFEN et al. 1995; TOO et al. 1967; JONKER et al. 1989). Post natum wurde dieses Diagnostikum bisher jedoch nur verwendet, um elektrokardiographische Standardwerte für Kälber zu erhalten (MENDES et al. 2001; GHITA et al. 2008; VAN ARSDEL 1959) oder um Kälber verschiedener Rassen anhand der Elektrokardiogramme zu vergleichen (AMORY et al. 1993). Das Alter der Kälber in den genannten Studien variiert jedoch stark zwischen 18 - 72 Stunden bei MENDES et al. (2001), von drei bis sieben Tagen bei GHITA et al. (2008) und von acht bis 348 Tagen bei AMORY et al. (1993). VAN ARSDEL (1959) gibt kein Alter, sondern das Gewicht von 425 Pfund als Richtwert für die Kälber seiner Studie an.

In der Rinderzucht stellen Schweregeburten und die Folgen dieser für das Kalb ein Problem dar. Trotz dessen hat in der Literatur bisher eine Überwachung von Kälbern aus Schweregeburten in deren ersten Lebenstagen zur Detektion geburtsbedingter

Funktionsstörungen des Herzens mittels Elektrokardiogramm nicht stattgefunden. Ebenso wenig ist ein direkter Vergleich von Kälbern aus Spontan- und Schweregeburten anhand des Elektrokardiogrammes zu finden. Gerade dies könnte in der bovinen Neonatologie von Interesse sein, da HERFEN und BOSTEDT (1999) in ihrer Studie zeigen, dass die Vitalitätsbeurteilung mit Hilfe des APGAR-Schemas in einer gewissen Diskrepanz zur labordiagnostischen Vitalitätsbewertung durch Erfassung des Säure-Basen-Haushaltes steht. In der Studie von HERFEN und BOSTEDT (1999) gibt es bei lebensfrischen Neonaten nur eine Übereinstimmung von 41 % zwischen diesen beiden Bewertungsmethoden. Bei den übrigen 59 % brachte die APGAR-Bewertung eine günstigere Aussage als die Klassifizierung mittels venöser Blutgas- und Säure-Basen-Haushalt-Befunde es zuließen. Die Übereinstimmung bei vital-depressiven Kälbern zwischen APGAR-Wert und Blutparametern lag mit 58 % etwas höher. Aufgrund dieser Studie fordert RICHTER (2005) die Suche nach neuen Kriterien zur Vitalitätsbewertung um diese Diskrepanz zu überwinden. Die neonatale Elektrokardiographie kann eventuell diese Lücke füllen, da sie in der humanen Neonatologie bereits als standardmäßig eingesetztes Diagnostikum gilt. BAUERSFELD et al. (2001) beschreiben, dass 1 – 5 % der humanen Neugeborenen in den ersten Lebenstagen Arrhythmien aufweisen. Um die meist supraventrikulären Rhythmusstörungen zu detektieren, zu überwachen und eine gegebenenfalls notwendige Behandlung zu kontrollieren, verweisen die Autoren auf das 12-Kanal-EKG als Gold-Standard. BINNETOGLU et al. (2014) beschreiben zusätzlich zu den supraventrikulären Extrasystolen auch die supraventrikuläre Tachykardie als verbreitete Arrhythmie bei humanen Neonaten. Diese Autoren werteten zusätzlich zum Kurzzeit-EKG, das Holter EKG, die Echokardiographie und blutchemische Analysen aus.

#### 5.1.2 Verlaufsuntersuchung von Kälbern mit neonataler Diarrhoe

Diarrhoe ist eine der Haupttodesursachen boviner Neonaten (FREESE et al. 1981). Unabhängig von der auslösenden Ursache führt eine andauernde neonatale Diarrhoe ohne Behandlung zu Elektrolytimbalancen, Verschiebungen des Säure-Basen-Haushaltes, energetischer Unterversorgung durch mangelhafte Nahrungsaufnahme und Dehydratation (BERCHTHOLD et al. 1990, DOLL 2002). Jede einzelne dieser Folgen führt im Extremfall zum Versterben des Neonaten. Welchen Stellenwert in diesem Gefüge die Beeinflussung der Herzfunktion durch die

Folgen der neonatalen Diarrhoe hat, ist bisher nicht erforscht. Zudem wurde der Wirkung der Diarrhoebehandlung mit Hilfe einer Puffertherapie auf die neonatale Herzfunktion bisher keine Beachtung geschenkt. Die eigenen Untersuchungen sollen helfen, diese Wissenslücke zu schließen.

## 5.2 Diskussion der Methode

### 5.2.1 Auswahl der Kälber

In der Literatur liegt keine Untersuchung vor, bei der neonatale Kälber aus Spontangeburt post natum bis zum fünften Lebenstag elektrokardiographisch untersucht wurden, so dass Vergleichswerte zu den eigenen Daten fehlen.

Bei den Kälbern mit neonataler Diarrhoe waren im Gegensatz zur anderen Gruppe nicht die Geburtssituation, sondern die Erkrankung im Alter bis zu 14 Tagen und eine fehlende Vorbehandlung die Einschlusskriterien in die Gruppe. Die Wahl des Einschlusskriteriums des Alters beruht darauf, dass das Bild der neonatalen Diarrhoe definitionsgemäß in den ersten zwei Lebenswochen in Erscheinung tritt (DOLL 2002; KASKE 1993).

### 5.2.2 Messtechnik

Das eingesetzte Televet 100 Gerät erwies sich zur Messung der Elektrokardiogramme für diese Studie als gut geeignet. Grund hierfür ist die geringe Größe und das damit verbundene geringe Gewicht, wodurch keine Belastung für die Kälber entstand. Zudem erwies sich die telemetrische Übertragung der Elektrokardiogramme über Bluetooth als sehr praktikabel, da keine Verbindung über ein eventuell störendes Kabel zum auswertenden Laptop nötig war.

Zur sicheren Befestigung des Televet 100 Gerätes wurde ein elastischer Deckengurt benutzt, wie er im Pferdsport üblich ist. Der Gurt ist stufenlos verstellbar und konnte somit an jedes Kalb exakt angepasst werden. Das Televet 100 Gerät wurde in einer Neoprentasche am Gurt befestigt und befand sich während der Messung dorsolateral am Kalb. Dies bot die Möglichkeit, alle benötigten Elektroden unter dem Gurt anbringen zu können, was einerseits einen Schutz für die Elektroden selbst bedeutete, andererseits diese noch etwas fester an das Kalb presste, was die Ableitungsqualität verbesserte. Keines der Tiere reagierte mit massiven

Abwehrbewegungen bei der Platzierung des Gurtes oder Dyspnoe während der Messung. Die Platzierung der Elektroden fand nach Anweisung des Handbuches zum Televet 100 Gerätes statt. NEHB (1938) nutzte zur Brustwandableitung beim Menschen den Ansatz der zweiten rechten Rippe am Brustbein, den dorsalen Projektionspunkt des Herzspitzenstoßes in die hintere Achsellinie und den Ort des Herzspitzenstoßes. Zur Befestigung der selbstklebenden Elektroden bedurfte es bei keinem der Tiere eines Rasierens, Scherens oder sonstiger Bearbeitung des Felles zur Verbesserung der Leitfähigkeit. Keines der Tiere reagierte auch nach längerem Kontakt mit dem Klebstoff und dem Kontaktgel der Elektroden mit Hautirritationen wie lokaler Schwellung, Haarverlust oder Juckreiz. Auf die Elektrodenplatzierung reagierte keines der Tiere mit massiven Abwehrbewegungen oder Schmerzsymptomatik. Allerdings führte, wie auch bei STÄHLI (2010) beschrieben, vereinzelt die starke Haftung aufgrund eingetrockneter Klebereste zu Schwierigkeiten beim Entfernen der Elektroden, wenn sie über 24 Stunden auf dem Kalb belassen wurden. Die Ableitungskabel zwischen den Elektroden und dem Televet 100 Gerät wurden unter den Gurt geklemmt, sodass sie nicht vom Maul des Kalbes erreicht werden konnten und bei plötzlichen Bewegungen nicht zwischen die Beine des Tieres gelangen konnten.

Zur Auswertung der Elektrokardiogramme wäre eine speziesspezifische Analysesoftware wünschenswert gewesen, da sowohl die Ausmessung der Elektrokardiogramme, als auch die Arrhythmiediagnostik visuell beziehungsweise manuell erfolgen musste. Zudem ist mit der Elektrodenplatzierung, welche im Handbuch des Televet 100 Gerätes beschrieben ist, keine Amplitudenbewertung möglich. Das wäre für diese Studie sehr wünschenswert gewesen.

## 5.3 Diskussion der Ergebnisse

### 5.3.1 Vergleichsuntersuchungen zwischen Kälbern aus Spontangeburt mit Kälbern aus Schweregeburten

Die labordiagnostischen Unterschiede am ersten Lebenstag zwischen den Gruppen im pH-Wert, dem Base excess und dem Blut-Laktatwert haben ihre Ursache in der verzögerten Geburtssituation der Kälber aus Schweregeburten und der daraus

folgenden höheren Wahrscheinlichkeit an der neonatalen Atemdepression zu erkranken (WALSER 1990). Die verzögerte Geburtssituation führt zu einem intrauterin gestörten feto-maternalen Gasaustausch, welcher auch extrauterin eine Hyperkapnie und Hypoxämie für das Kalb bedeutet. Als Folge stellt sich eine respiratorische Azidose ein. Den Sauerstoffmangel versucht der Organismus des Kalbes durch Vasokonstriktion und somit Minderdurchblutung in weniger lebenswichtigen Organen zu kompensieren. Für den Gesamtorganismus bedeutet die Minderdurchblutung, dass zur Deckung des Energiebedarfs der Gewebe verstärkt eine anaerobe Glykolyse mit vermehrter Bildung von Laktat stattfindet. Somit folgt auf die respiratorische Azidose aufgrund der Atemdepression, eine metabolische Azidose (WALSER 1990).

Ein direkter Zusammenhang zwischen der Geburtssituation und der erhöhten Konzentration von ionisiertem Calcium bei Kälbern aus Schweregeburten besteht darin, dass die Konzentration von ionisiertem Calcium im Blut im Azidosezustand erhöht ist (THOMAS 2005). Grund hierfür ist, dass das Gesamtcalcium bei physiologischem Säure-Basen-Status aus einer eiweißgebundenen Fraktion, einer komplexgebundenen Fraktion und dem freien ionisierten Calcium besteht. Das freie ionisierte Calcium steht mit der eiweißgebundenen Fraktion im Gleichgewicht. Während einer Azidose kommt es sowohl zur Veränderung des pH-Wertes als auch der  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Blut, was dazu führt, dass die Calciumionen mit Wasserstoffionen um die Bindungsstellen an Eiweißmolekülen in Konkurrenz treten. Infolge dessen findet sich während einer Azidose mehr ionisiertes Calcium im Blut als bei einem ausgeglichenen Säure-Basen-Haushalt (RADKE 1988).

Beim Vergleich der Verlaufsdaten fällt über den kompletten Untersuchungszeitraum eine erhöhte Herzfrequenz der Kälber aus Schweregeburten gegenüber den Kälbern aus Spontangeburt auf. HELD et al. (1986) beschreiben eine erhöhte Herzfrequenz bis hin zur Tachykardie mit über 155 Schlägen pro Minute bei Kälbern mit einer geburtsbedingten Azidose. Da sich alle Kälber aus Schweregeburten vital und ohne Krankheitsanzeichen über den Untersuchungszeitraum entwickelten, wurden an den Folgetagen nach der Geburt keine weiteren labordiagnostischen Untersuchungen eingeleitet. Um die erhöhte Herzfrequenz aufgrund einer andauernden Azidose zu detektieren wären an dieser Stelle weitere labordiagnostische Untersuchungen zu wünschen gewesen. BOCKING (1993) wies

bei Schafsfeten einen direkten Zusammenhang zwischen der Oxygenierung des Blutes und Schwankungen der Herzfrequenz nach, sowohl im Zustand der Azidose als auch ohne Vorliegen einer Azidose. Um einen Zusammenhang der erhöhten Herzfrequenz und des Blut-Sauerstoffgehaltes zu detektieren wären an dieser Stelle arterielle Blutgasanalysen zum Zeitpunkt der Messung des Elektrokardiogrammes notwendig. Vorstellbar ist auch eine Schädigung des Herzmuskels durch die Azidose in der Geburt. So beschreiben DAUM et al. (1986), dass eine respiratorische Azidose zu einer deutlich verminderten Myokardkontraktilität beim Menschen- und Meerschweinchenherzen führt. Zum Nachweis der Herzmuskelschädigung müssten herzspezifische Laborparameter bestimmt werden. Kälber aus Schweregeburten werden deutlich intensiver durch das Betreuungspersonal versorgt als Tiere aus Spontangeburt. Dies könnte erhöhten Stress für die Tiere bedeuten. Stress bewirkt laut BRUNCKHORST et al. (2003) eine Aktivierung des hypothalamischen-adrenomedullären Systems, was zu einer Erhöhung der zirkulierenden Katecholamine führt. Katecholamine steigern laut der Autoren den Sympathikotonus und führen somit auch direkt zu einer Erhöhung der Herzfrequenz. Vorstellbar ist auch eine Erhöhung der Herzfrequenz durch Lungenschädigungen, die während der Schweregeburt durch Fruchtwasser- oder Mekoniumaspiration entstanden sind. Um diese nachzuweisen wären weitere diagnostische Maßnahmen wie eine Lungenendoskopie, Magnetresonanztomographie oder Lungenbiopsie notwendig.

Die kürzeren Dauern von P-Welle, QRS-Komplex, T-Welle, P-Q-Intervall und Q-T-Intervall der Kälber aus Schweregeburten über den Verlauf der Untersuchung ergeben sich nur zum Teil durch die durchgängig höhere Herzfrequenz. Laut BUSSE et al. (2004a, b) sind die humane P-Welle und der QRS-Komplex weder von Herzfrequenz, noch von körperlicher Belastung abhängig. Für die T-Welle beschreiben FIKENZER et al. (2005a) eine lineare Abhängigkeit zur Herzfrequenz beim humanen Herzen. Das Q-T-Intervall beschreiben WÜTZ et al. (2011) und BUSSE et al. (2004c) als linear von der Herzfrequenz abhängig, außer im Falle von starker körperlicher Belastung. Das P-Q-Intervall wird von WÜTZ et al. (2011) als abhängig und von BUSSE et al. (2004d) als fraglich abhängig von der Herzfrequenz beschreiben, da eine Abhängigkeit nicht bei leichter, jedoch bei mittlerer bis starker Belastung besteht.

Einen anderen Erklärungsansatz für die kürzeren Dauern der EKG-Parameter bei den Schweregeburten liefert die Betrachtung der unterschiedlichen Rassenverteilung in den beiden Kälbergruppen. Bei den Spontangeburtstammen stammten 15% der Kälber (3 von 20 Kälbern) von Fleischschaffrassen, bei den Schweregeburten waren es 75% (15 von 20 Kälbern). In der Studie von AMORY et al. (1993) wiesen die Kälber der Fleischrinder signifikant kürzere Dauern der QRS-Komplexe und T-Wellen ( $p \leq 0,001$ ), sowie des Q-T-Intervalls ( $p \leq 0,05$ ) auf. Auch die P-Wellen tendierten zu kürzeren Dauern, jedoch nicht statistisch signifikant. Um dies nachzuprüfen müsste diese Studie mit Tieren aus nur einer Rasse wiederholt werden.

Die Veränderungen der EKG-Parameter P-Wellen Dauer, QRS Komplex Dauer, T-Wellen Dauer und Dauer der P-Q-Intervalle zeigen sich in beiden Gruppen gleichmäßig über die Zeit. Somit kann davon ausgegangen werden, dass für diese Parameter die Geburtssituation keinen Einfluss auf die Entwicklung der elektrokardiographischen Herzfunktion besitzt. WÜTZ et al. (2011) beschreiben, dass sich die Dauern der EKG-Parameter P-Q-Intervall Dauer und QRS- Komplex Dauer beim humanen Neonaten bis zum Kindesalter deutlich verlängern. Als Grund hierfür geben die Autoren zum einen den sich verändernden Lagetyp des Herzens an, da sich die Lage des Herzens vom Neonaten bis zum Kindesalter vom Rechtstyp zum Steiltyp verändert. Zum anderen führen Größen- und Massenzunahme im Wachstum zu veränderten Reizleitungsgeschwindigkeiten. So sollte zum Beispiel die QRS-Dauer bei Neugeborenen unter 70 Millisekunden liegen, eine Dauer bis 100 Millisekunden im Kindesalter ist jedoch als physiologisch anzusehen.

Die Parameter Q-T- und S-T-Strecken Dauer weisen in den beiden Kälbergruppen unterschiedliche Verläufe auf. Die Geburtssituation scheint somit einen Einfluss auf diese Parameter zu haben. WÜTZ et al. (2011) beschreiben zudem eine Verlängerung des Q-T-Intervalls im Kindesalter als normal, bei den Kälbern dieser Studie trat jedoch eine Verlängerung mit zunehmendem Alter ein.

Bei der Korrelationsanalyse am ersten Lebenstag der Kälber aus Spontangeburtstammen zeigt sich eine Abhängigkeit der P-Wellen Dauer vom pH-Wert und der Herzfrequenz. YIN et al. (2007) beschreiben beim Hund Veränderungen der P-Welle bei Azidose, jedoch in der Regel in Verbindung mit einer Hyperkaliämie. Diese lag



bei den Kälbern dieser Gruppe nicht vor. Auf die Abhängigkeit von der Herzfrequenz wurde bereits zuvor eingegangen (BUSSE et al. (2004a)).

Die deutliche Korrelation zwischen Körperinnentemperatur und Hämatokrit lag in der Studie von SCHEID (2004) an postpartalen Fleischrindkälbern nicht vor. In seiner Studie korrelierte die Körperinnentemperatur allerdings signifikant ( $p \leq 0,01$ ) mit dem pH-Wert und dem Kohlendioxidpartialdruck. Auch die Korrelation zwischen Blutglucose und Atemfrequenz lässt sich in der Studie von SCHEID (2004) nicht wiederfinden. In seiner Studie korrelierte die Blutglucose post natum signifikant ( $p \leq 0,05$ ) mit dem pH-Wert, dem Kohlendioxidpartialdruck und dem Base excess.

Die Korrelation zwischen S-T-Strecken Dauer und der Herzfrequenz beschreiben auch FIKENZER (2005b) bei Belastung beim Menschen.

Des Weiteren wurde eine Korrelation zwischen T-Wellen Dauer und Körperinnentemperatur gefunden. HEINRICH (1957) beschreibt Veränderungen der T-Welle in experimenteller Hypothermie beim Hund. Allerdings wirkt sich diese Hypothermie in seiner Studie auf die Morphologie und nicht auf die Dauer der T-Welle aus. Bei Hyperthermie beschreiben SCHARHAG et al. (2013) lediglich eine Triggerung bestehender ventrikulärer Arrhythmien bei Menschen, jedoch keine konkrete Auswirkung auf einzelne Parameter des EKG.

Bei den Kälbern aus Schweregeburten sind die Korrelationen von pH-Wert und Base excess zur Atemfrequenz der respiratorischen Kompensation des Azidosezustandes der Kälber geschuldet. Auf die Entstehung dieser Azidose wurde bereits eingegangen (WALSER (1990)).

In dieser Kälbergruppe korreliert die Q-T-Intervall Dauer mit der Kaliumionenkonzentration, der Laktatkonzentration, der Herz- und Atemfrequenz. HADORN et al. (1951) und TILLEY et al. (2006) beschreiben bei sinkendem Kaliumspiegel eine Verlängerung des Q-T-Intervalls mit Verlängerung der T-Welle. Ebenfalls eine Verlängerung des Q-T-Intervalls beschreiben TILLEY et al. (2006) bei Hypocalcämie, Hypothermie und Anstrengung beim Kleintier. HARMEYER et al. (2010) und TILLEY et al. (2006) beschreiben die Verkürzung des Q-T-Intervalls bei Hyperkaliämie und Hypercalcämie. ROSEN et al. (1976) beschreiben, dass die Blutlaktatkonzentration als Anzeichen einer Gewebshypoxie beim Schaf die S-T-

Strecke und somit indirekt auch das Q-T-Intervall beeinflusst. Jedoch konnte der Zusammenhang zwischen der Laktatkonzentration und der S-T-Strecke bei den Kälbern aus Schweregeburten in dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Auf den Zusammenhang zwischen Q-T-Intervall Dauer und der Herzfrequenz wurde bereits eingegangen (WÜTZ et al. (2011), BUSSE et al. (2004c)).

Die Korrelation der Laktat-Konzentration zur Atem- und Herzfrequenz ist der Tatsache geschuldet, dass das Ansteigen der Laktatkonzentration im Blut ein Anzeichen für Gewebshypoxie ist, die vom Körper durch Steigerung der Atemfrequenz versucht wird zu beheben (WAHL et al. (2009)).

Auf den Zusammenhang zwischen S-T-Strecken Dauer und Herzfrequenz wurde bereits eingegangen (FIKENZER (2005b)).

#### 5.3.2 Verlaufsuntersuchung von Kälbern mit neonataler Diarrhoe

Die Tiere dieser Gruppe boten in Bezug auf Alter und Krankheitsbild ein sehr einheitliches Probandenkollektiv, was sicher auf die engen Einschlusskriterien zurückzuführen ist. Im deutlichen Gegensatz dazu steht die sehr variable Auswirkung der Erkrankung auf das Elektrokardiogramm der unbehandelten Kälber. Da bei 15 % der Kälber (drei von 20 Kälbern) keinerlei Auswirkungen auf das Elektrokardiogramm zu detektieren waren, ist die Wahrscheinlichkeit der Auswirkung der neonatalen Diarrhoe auf das Elektrokardiogramm zwar als sehr hoch, aber nicht als sicher anzusehen. Ebenso schwankt der Grad der Auswirkung sehr stark. Umso erstaunlicher ist es, dass unabhängig vom Grad der Auswirkung auf das Elektrokardiogramm, alle Kälber spätestens am zweiten Tag der Behandlung, 71 % (12 von 17 Kälbern) bereits direkt nach der Initialbehandlung ein unauffälliges Elektrokardiogramm aufwiesen. Diese Beobachtung führt zur Erkenntnis, dass die Initialtherapie mit dem Ausgleich des Säure-Basen-Ungleichgewichts und des Flüssigkeitsdefizits einen ausreichenden Effekt auf die durch das EKG erfasste Herzaktivität besitzt.

Umso erstaunlicher ist es, dass bei der einfaktoriellen Varianzanalyse die P-Wellen-Dauer, die Dauer der T-Wellen und der P-Q-Intervalle, sowie die Dauer der Q-T-Intervalle bis zum 4. Messzeitpunkt keine signifikanten Veränderungen über den Zeitverlauf aufweisen. An dieser Stelle wäre zusätzlich eine separate Analyse des

ersten Behandlungstages sinnvoll gewesen, da sich der Behandlungserfolg, wie zuvor beschrieben, schon meist nach der Initialbehandlung einstellte.

Einen weiteren Hinweis hierauf bietet der Vergleich der Korrelationsanalysen zwischen elektrokardiographischen und labordiagnostischen Parametern vor der Initialbehandlung und danach.

So finden sich für die P-Welle vor der initialen Therapie Korrelationen zum Base excess, zum pH-Wert, dem Hämatokrit und der Herzfrequenz. Am zweiten Tag gibt es nur noch eine Korrelation zur Laktatkonzentration. Auswirkungen auf die Morphologie der P-Welle beschreiben KLÜTSCH (1965) und SO et al. (1975) im Zusammenhang mit einer Hyperkaliämie. Im Hyperkaliämiezustand kam es in ihren Studien zu einer Abflachung der P-Welle bis hin zum Verschwinden der P-Welle bei weiterer Steigerung der Kaliumkonzentration am humanen Herzen (SO et al. 1975) und am Hundeherzen (KLÜTSCH 1965). Auf eine Verkleinerung der P-Welle weisen ebenfalls YIN et al. (2007) im Hyperkaliämiezustand im Zusammenhang mit einer Azidose beim Hund hin. Im Falle einer Hypokaliämie tritt laut HARMEYER et al. (2010) eine Vergrößerung der P-Welle ein. Auf den Zusammenhang zwischen P-Welle und Herzfrequenz wurde bereits eingegangen (BUSSE et al. 2004a). KLINGE (2011) weist darauf hin, dass es unabhängig von Störungen des Elektrolyt- oder Säure-Basenhaushaltes zu Veränderungen der P-Welle kommen kann. Gründe hierfür können pathologische Veränderungen der Vorhofmuskulatur, zum Beispiel in Folge einer Hypertonie, Blockierungen des Bachmannbündels, eine Pulmonalklappenstenose, eine Mitralklappeninsuffizienz oder Veränderungen an den internodalen Leitungsbahnen sein.

Der QRS-Komplex weist vor der initialen Behandlung Korrelationen zum Base excess und Hämatokrit auf. An den folgenden Behandlungstagen treten Korrelationen zur Calciumionenkonzentration, zum pH-Wert und erneut zum Base excess auf. Die Korrelationen von pH-Wert und Base excess auf den QRS-Komplex, der die Erregungsleitung im Ventrikel widerspiegelt, ist mit der negativ inotropen Auswirkung der Azidose zu erklären. Die negative Inotropie kommt laut HARMEYER et al. (2010) dadurch zustande, dass die Calciumsensitivität der kontraktilen Proteine des Kammermyokards aufgrund der pH-Wert abhängigen Affinität von Troponin C zu Calcium mit fallendem pH-Wert abnimmt. KLÜTSCH (1965), SO et al. (1975) und

HARMEYER et al. (2010) beschreiben zudem verbreiterte QRS-Komplexe beim Vorliegen einer Hyperkaliämie. HARMEYER et al. (2010) beschreiben des Weiteren eine Verkürzung des QRS-Komplexes bei einer Hybernatriämie, als Folge eines verstärkten Natriumeinstroms in die Myokardzellen und einer daraus folgenden steileren Depolarisation der Aktionspotentiale. SCHELLER et al. (2010) beschreiben im Falle eines sinkenden Hämatokrits eine Abflachung des QRS-Komplexes, jedoch keine Auswirkung auf dessen Dauer beim Hausschwein. Als Ursachen für Veränderungen des QRS-Komplexes, die unabhängig von Störungen des Elektrolyt- oder Säure-Basen-Haushaltes sind, nennt KLINGE (2011) Schenkelblöcke, Pleura- oder Perikardergüsse oder ein Emphysem.

Vor der initialen Behandlung weist die T-Welle Korrelationen zum Hämatokrit und zur Natriumionenkonzentration auf. An den darauffolgenden Tagen zeigen sich Korrelationen zum pH-Wert, zum Base excess, zur Natrium- und Kaliumionenkonzentration, sowie zur Herz- und Atemfrequenz. Die Abhängigkeit der T-Welle vom Hämatokrit beschreiben SCHELLER et al. (2010) beim Hausschwein. Sie beobachteten bei sinkendem Hämatokrit eine Abflachung der T-Welle. Die Kaliumabhängigkeit der T-Welle beschreiben SO et al. (1975) und HARMEYER et al. (2010) sowohl im Falle der Hypokaliämie als auch der Hyperkaliämie. Beim Vorliegen einer Hypokaliämie flacht die T-Welle ab, wird biphasisch oder sogar negativ; bei einer Hyperkaliämie deutlich höher ( $> 0,6$  mV), möglicherweise schmaler, möglicherweise aber auch breiter. Auch SCHLÖMERICH et al. (1959) beschreiben eine Überhöhung der T-Wellen bei akuter Hyperkaliämie und zusätzlich eine Steigerung dieses Phänomens bei gleichzeitiger Hyponatriämie. Eine zeltförmige, überhöhte T-Welle im Falle einer Hyperkaliämie beschreibt auch KLÜTSCH (1965). Auf den Zusammenhang zwischen der T-Welle und der Herzfrequenz wurde bereits eingegangen (FIKENZER et al. (2005a))

Die P-Q-Intervall Dauer weist vor der initialen Behandlung eine deutliche Korrelation zur Herzfrequenz auf. An den folgenden Behandlungstagen zeigen sich Korrelationen zur Kalium- und Calciumionenkonzentration, zur Laktatkonzentration, zur Herz- und Atemfrequenz und zur Körpertemperatur. Auf die Abhängigkeit der P-Q-Intervall Dauer von der Herzfrequenz wurde bereits eingegangen (WÜTZ et al. (2011), BUSSE et al. (2004d)). Eine Verlängerung der P-Q-Intervall Dauer bis hin zum AV-Block beschreiben MÖLLER et al. (2007) und SO et al. (1975) im

Zusammenhang mit einer Hyperkaliämie beim humanen Patienten, zum Beispiel im Rahmen einer Niereninsuffizienz. Auch im Falle einer Hypokaliämie von  $< 3 \text{ mmol/l}$  beschreiben HARMEYER et al. (2010) eine Verlängerung des P-Q-Intervalls. SLAPAK (1957) beschreibt eine Verlängerung des P-Q-Intervalls zum einen bei erhöhtem Vagustonus beim trainierten Sportlerherzen, zum anderen bei einem Myokardschaden. Allerdings ist die Laktatkonzentration zur P-Q- Intervall Dauer negativ korreliert. Wäre die Laktatkonzentration ein Indikator für eine Gewebsschädigung am Myokard, welche eine P-Q-Intervallverlängerung hervorruft, müsste die Korrelation genau umgekehrt liegen. Die Korrelation der P-Q-Intervall Dauer zur Calciumionenkonzentration kann in der Literatur nicht nachvollzogen werden. Sowohl HARMEYER et al. (2010), als auch SO et al. (1975) beschreiben nur die Beeinflussung des Q-T-Intervalls bei Verschiebungen im Calciumhaushalt.

Die Q-T-Intervall Dauer zeigt vor der initialen Behandlung eine Korrelation zur Atemfrequenz und zur Herzfrequenz. Die Korrelation zur Herzfrequenz zeigt sich über sämtliche Behandlungstage. An den folgenden Behandlungstagen zeigen sich Korrelationen zum pH-Wert, zum Base excess, zur Natrium- und Kaliumionenkonzentration, zur Blutglucose und zur Körpertemperatur. Auf den Zusammenhang zwischen Q-T-Intervall Dauer und der Herzfrequenz wurde bereits eingegangen (WÜTZ et al. (2011), BUSSE et al. (2004c)). Ebenso auf die Abhängigkeit zwischen Q-T-Intervall Dauer und Veränderungen im Blutkaliumspiegel, sowie der Körpertemperatur (HADORN et al. (1951), TILLEY et al. (2006), HARMEYER et al. (2010)). Laut HARMEYER et al. (2010) verstärkt eine Hypernatriämie den Calciumausstrom während des Plateaus und der Repolarisation. Dies verringert die Kontraktionskraft, das EKG weist bei dieser Störung jedoch keine typische Veränderung auf. YIN et al. (2007) weisen im Falle einer Azidose auf verschiedene Veränderungen im EKG beim Kleintier hin, jedoch eine direkte Auswirkung auf die Q-T-Intervall Dauer wird nicht beschrieben. Ebenso beschreiben STEWART et al. (1965) bei ihren Versuchen an acht Ayrshire Bullenkälbern, welche unter Narkose in den Zustand einer Azidose gebracht wurden, eine Vielzahl an EKG-Veränderungen (vgl. 2.4). Aber auch hier zeigte sich keine direkte Auswirkung auf die Q-T-Intervall Dauer. Eine Verlängerung der Q-T-Intervall Dauer im Falle einer Hypoglycämie von  $< 3 \text{ mmol/l}$  beschreiben HANEFELD et al. (2014) am humanen Patienten mit Diabetes Typ 2.

Die S-T-Strecken Dauer zeigt vor der initialen Behandlung Korrelationen zur Blutglucosekonzentration und zur Herzfrequenz. Die Korrelation zur Herzfrequenz zeigt sich über sämtliche Behandlungstage. An den folgenden Behandlungstagen zeigen sich Korrelationen zum pH-Wert, zum Base excess, zur Natrium- und Kaliumionenkonzentration und zur Körperinnentemperatur. Auf den Zusammenhang zwischen S-T-Strecken Dauer und der Herzfrequenz wurde bereits eingegangen (FIKENZER (2005b)). In der Studie von CALLSEN (2010) wurde der Auslöser von signifikanten S-T-Strecken-Veränderungen bei humanen Neonaten untersucht. Der Autor beschreibt Abweichungen im pH-Wert, beim Kohlenstoffdioxid-Partialdruck, bei Basenabweichungen und Laktatwerterhöhungen als Ausschlag gebend für Veränderungen der S-T-Strecke. Die ebenso untersuchten Konzentrationen von Natrium-, Kalium-, Calcium- und Chloridionen sowie die Blutglucosekonzentration hatten in dieser Studie keinen signifikanten Einfluss auf Veränderungen der S-T-Strecke im humanen neonatalen EKG. Widersprüchlich hierzu beschreibt HOLZMANN (1957), dass die Haupteinwirkung auf die S-T-Strecke von der Calciumionenkonzentration im Serum ausgeht und es zur Verlängerung der S-T-Strecke im Hypocalcämiezustand kommt. Des Weiteren legt der Autor Wert darauf, dass für Veränderungen im EKG, welche durch Elektrolytverschiebungen bedingt sind, die Calciumionen- und Kaliumionenverschiebungen ursächlich sind, und Verschiebungen im Natriumhaushalt nur eine sekundäre Rolle zukommt. Der gleichen Ansicht sind HARMEYER et al. (2010). Laut ihnen ist die Verlängerung der S-T-Strecke bei einer Hypocalcämie auf eine Verlängerung der Aktionspotentiale im Myokard zurückzuführen. DICK et al. (1993) weisen beim Menschen auf S-T-Strecken-Veränderungen bei einem erhöhten Hämatokrit von über 36 % hin. Dies ist bei den Kälbern mit Diarrhoe in dieser Studie nicht zu detektieren.

Bei der Herzfrequenz zeigen sich erst nach der initialen Behandlung Korrelationen zur Kaliumionen- und Blutglucosekonzentration. Die Korrelation zwischen der Blut-Kalium-Konzentration und der Herzfrequenz erklärt sich aus der negativ chronotropen Wirkung des Kaliums auf die Schrittmacherzellen (HEROLD 2013). SCHÄFFER et al. (1927) beschreiben beim Menschen verschiedene Beeinflussungen der Herzfunktion durch Schwankungen der Blutglucosekonzentration. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass ein Teil der Beeinflussungen, zu denen die Frequenzsteigerung und die Formänderung der T-

Welle gehören, sich als unabhängig vom Blutzucker erwiesen und als direkte Insulinwirkung auf den Herzmuskel erklärt werden müssen. Ein anderer Teil der Veränderungen, zu denen eine Verlängerung des QRS-Komplexes, die Formänderung der P-Welle, die gelegentlich beobachtete Bradykardie, der Herzalternans, die Kammersystolenausfälle und die Extrasystolen gehören, wurden ausschließlich während Hypoglykämie beobachtet und sind demnach als Folge der Hypoglykämie, nicht des Insulins aufzufassen.

Trotz der insgesamt sehr hohen Anzahl an Korrelationen, fällt auf, dass sich nur die Korrelationen zwischen S-T-Strecke und Q-T-Intervall zur Herzfrequenz über sämtliche Behandlungstage zeigt. Das bedeutet, dass sich keine Korrelation zwischen einem labordiagnostischen Parameter zu einem elektrokardiographischen Parameter über sämtliche Behandlungstage detektieren ließ. Daraus ist zu schließen, dass die Beeinflussung des Elektrokardiogrammes von Kälbern mit neonataler Diarrhoe nicht auf eine einzelne Abweichung der labordiagnostischen Messwerte zurückzuführen ist. Vielmehr ist es das Zusammenwirken mehrerer Entgleisungen des Flüssigkeits-, Säure-Basen- und Elektrolythaushaltes, die das Elektrokardiogramm verändern. Besonders zu nennen sind an dieser Stelle Veränderungen des Hämatokrits, des Base excess in Zusammenhang mit einer Absenkung des Blut-pH-Wertes und Verschiebungen im Kalium- und Calciumionenhaushalt. Veränderungen im Natriumhaushalt und Erhöhungen des Laktatwertes spielen eine untergeordnete Rolle.

#### 5.4 Schlussbetrachtung

Durch die vorgelegten Untersuchungen wurde zum ersten Mal ein direkter Vergleich zwischen neugeborenen Kälbern aus Spontangeburt mit Kälbern aus Schweregeburten auf elektrokardiographischer Ebene geschaffen. Durch die zeitgleiche Blutprobenentnahme konnte zusätzlich die unterschiedliche Geburtssituation nicht nur von elektrokardiographischer, sondern auch aus labordiagnostischer Sicht betrachtet und verglichen werden. Es war möglich festzustellen, dass das verwendete telemetrische, ambulante EKG-Gerät ein vorteilhaftes, zuverlässiges zusätzliches Gerät für die bovine Neonatologie darstellt.

Ebenso erwies sich das eingesetzte EKG-Gerät als zuverlässiges Diagnostikum bei der Detektion von Störungen der Herzaktivität, die durch Folgen der neonatalen

Diarrhoe entstanden. Es konnten durch diese Studie nicht nur die elektrokardiographisch erkennbaren Störungen der Herzaktivität detektiert und eingestuft, sondern auch direkt in Beziehung zu labordiagnostischen Parametern gestellt werden. Des Weiteren war es durch diese Studie möglich, den Erfolg der angewandten Initialtherapie direkt zu dokumentieren. Auch für die Verlaufsuntersuchungen an den folgenden Behandlungstagen erwiesen sich die angefertigten Elektrokardiogramme als nützliches, praxistaugliches diagnostisches Mittel zur Überwachung des Therapieerfolges bei Kälbern mit neonataler Diarrhoe. In Zukunft besteht die Möglichkeit verschiedene Puffertherapien beim Kalb mit Durchfall auch in Hinblick auf die Belastung des Herzens zu vergleichen.



Die Elektrokardiographie von neonatalen Kälbern kam in der vorgelegten Studie bei Kälbern aus Eutokie und Dystokie sowie bei Kälbern mit neonataler Diarrhoe zum Einsatz.

Für die elektrokardiographischen Untersuchungen wurde das ambulante, telemetrisch arbeitende EKG-Gerät Televet 100 verwendet. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm BMDP/ Dynamic, Release 8.1.

Es zeigen sich am ersten Lebenstag signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen der Kälber aus Spontangeburt und denen aus Schweregeburten in den labordiagnostischen Untersuchungen bei Base excess, pH-Wert, Laktat-Wert und der Konzentration von ionisiertem Calcium im Blut. Diese lassen sich durch das neonatale Atemnotsyndrom und den Azidosezustand auf Grund der verzögerten Geburtssituationen der Kälber erklären. Bei der Korrelationsanalyse der Kälber aus Spontangeburt zeigten sich deutliche Korrelationen zwischen P-Wellen Dauer und pH-Wert, P-Wellen Dauer und Herzfrequenz, Körperinnentemperatur und Hämatokrit, Atemfrequenz und Blutglucose, Q-T-Intervall Dauer und Herzfrequenz, S-T-Strecken Dauer und Herzfrequenz, sowie bei T-Wellen Dauer und Körperinnentemperatur. Bei der Korrelationsanalyse der Kälber aus Schweregeburten zeigte sich ein Unterschied von  $p \leq 0,05$  zwischen pH-Wert und Atemfrequenz, Base excess und Atemfrequenz, Q-T-Intervall Dauer und Kaliumionenkonzentration, Q-T-Intervall Dauer und Laktatkonzentration, Herzfrequenz und Laktatkonzentration, Atemfrequenz und Laktatkonzentration, Herzfrequenz und Q-T-Intervall Dauer, Herzfrequenz und S-T-Strecken Dauer, sowie Atemfrequenz und Q-T-Intervall Dauer. Über den kompletten Untersuchungszeitraum zeigten die Kälber aus Schweregeburten eine signifikant höhere Herzfrequenz im Vergleich zu den Kälbern aus Spontangeburt. Die Ursache hierfür konnte nicht abschließend geklärt werden. Als Ergebnis der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Verlaufsdaten ist zu erkennen, dass für alle erhobenen Parameter eine signifikante Veränderung über die Zeit vorliegt. Für die EKG-Parameter P-Wellen Dauer, QRS-Komplex Dauer, T-Wellen Dauer, P-Q-Intervall Dauer und Q-T-Intervall Dauer besteht ein Gruppeneffekt. Dieser ist möglicherweise auf die unterschiedliche Rassezusammensetzung und nicht auf die unterschiedliche Geburtssituation in den Gruppen zurückzuführen, denn

die Werte der EKG-Parameter P-Wellen Dauer, QRS-Komplex Dauer, T-Wellen Dauer, P-Q-Intervall Dauer zeigen in beiden Gruppen einen einheitlichen Verlauf über die Zeit. Nur die EKG-Parameter Q-T-Intervall und S-T-Strecken Dauer entwickeln sich in beiden Gruppen unterschiedlich über die Zeit und sind somit von der Geburtssituation abhängig.

Die Kälber mit neonataler Diarrhoe wiesen trotz sehr einheitlichem Krankheitsbild im initialen Elektrokardiogramm eine breite Bandbreite an Veränderungen auf. Diese reichten von unveränderten Elektrokardiogrammen bis hin zu Elektrokardiogrammen mit deutlichen Arrhythmien. Nach eingeleiteter Therapie zum Ausgleich des Säure-Basen- und Flüssigkeitshaushaltes zeigten alle Kälber spätestens am zweiten Tag der Therapie ein unauffälliges Elektrokardiogramm. Somit kann die eingeleitete Therapie der Kälber mit neonataler Diarrhoe auf elektrokardiographischer Ebene als wirkungsvoll bewertet werden. Über den Untersuchungszeitraum wurde für jeden elektrokardiographischen Messwert die Korrelation zu jedem labordiagnostischen Parameter und zu den Vitalparametern gesucht. Nur für Q-T- und S-T-Strecken Dauer zeigte sich eine deutliche Korrelation zur Herzfrequenz über sämtliche Untersuchungstage. Kein labordiagnostischer Parameter wies durchgängig über alle Untersuchungstage eine Korrelation zu einem EKG-Parameter auf. Es konnte abschließend nicht geklärt werden, welche labordiagnostische Veränderung zu welcher direkten elektrokardiographischen Auswirkung führt. Somit ist das Zusammenwirken der Entgleisungen des Säure-Basen-, Flüssigkeits- und Elektrolythaushaltes als Ursache der Elektrokardiogrammveränderungen eines Kalbes mit neonataler Diarrhoe anzusehen.

In this study electrocardiography of neonatal calves was applied to compare calves after being born in different situations. It also was used to monitor bovine neonates suffering from neonatal diarrhea.

For electrocardiographic measurements, the portable, telemetric ecg-device Televet 100 was used. The collected data were statistically analyzed using the statistics program BMDP/ Dynamic, Release 8.1.

At the first day of life the laboratory diagnostic parameters base excess, pH-value, lactate and ionized calcium differed obviously between the group of calves being born during spontaneous delivery and the calves being born following dystocia. The reasons for these differences are neonatal asphyxia and acidosis as result of the retarded birth situations in the calves being born following dystocia. The correlation analysis showed clear correlations between p-wave duration and pH-value, p-wave duration and heart rate, body temperature and hematocrit, breathing rate and blood glucose concentration, Q-T-segment and heart rate, S-T-segment and heart rate, as well as T-wave duration and body temperature. The correlation analysis of the calves being born following dystocia showed correlations with  $p \leq 0,05$  between pH-value and breathing rate, base excess and breathing rate, Q-T-segment and potassium ion concentration, Q-T-segment and lactate concentration, heart rate and lactate concentration, breathing rate and lactate concentration, heart rate and Q-T-segment, heart rate and S-T-segment, as well as breathing rate and Q-T-segment.. During the whole investigation period the heart frequencies of the calves being born following dystocia were significantly higher than the heart frequencies of calves being born during spontaneous delivery. The reason for this finding remains unclear. The result of a two factor analysis of variance of the electrocardiographic data of both groups of calves is a significant alteration for all parameters over the time. The ecg-parameters P-wave duration, QRS complex duration, T-wave duration, P-Q-segment and Q-T-segment show a group effect. The reason for the group effect might be a different compilation of breeds in the groups and not the different birth situation. Just in Q-T-segment and S-T-segment there is an interaction between group and time. Only these ecg-parameters seem to be depending on the birth situation.

Although calves with neonatal diarrhea had a very similar clinical picture, their initial electrocardiograms showed a wide range of alterations. In particular, they ranged from completely unchanged electrocardiograms to electrocardiograms with arrhythmias. The electrocardiogram of all calves turned to normal, at latest at the second day after therapy had been initiated to compensate the acid-base and fluid balance. Thus the initiated treatment of the calves with neonatal diarrhea seemed to be sufficient from the electrocardiographic perspective. During the whole investigation period all electrocardiographic values had been compared to all laboratory parameters and vital parameters. Only Q-T- and S-T-segment showed a clear correlation to the heart rate for the whole investigation period. So did neither of the laboratory parameters. It was finally impossible to reveal the causative relevance of the laboratory variations to the electrocardiographic effects. Thus the interaction of the disorders of acid-base, fluid and electrolyte balance is most likely the cause of alterations in the electrocardiogram of calves with neonatal diarrhea.

## Literaturverzeichnis

ALFREDSON BV, SYKES JF (1942)

Electrocardiographic studies in normal dairy cattle

Jour. Agr. Res. 65, 61

AMORY H, ROLLIN F A, GENICOT B C, BEDUIN J L, LEKEUX P M (1993)

Comparative Study of the Body Surface Electrocardiogram in Double-muscled and Conventional Calves

Can. J. Vet. Res. 1993; 57 (3), 139-145

AGDUHR E, STENSTRÖM N (1930)

The Appearance of the Electrocardiogram in Heart Lesions produced by Cod liver Oil Treatment

Acta Paed. 9 (3-4), 229-544

BAUERSFELD U, PFAMMATTER JP, JAEGGI E (2001)

Treatment of supraventricular tachycardias in the new millennium - drugs or radiofrequency catheter ablation?

Eur. J. Pediatr. 160, 1-9

BERCHTHOLD M, ZAREMBA W, GRUNERT E (1990)

Kap. 8 Kälberkrankheiten

In: WALSER K, BOSTEDT H (Hrsg.) Neugeborenen und Säuglingskunde,

Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1990, 1.Auflage, S. 264-324

BERGMANN EN, SELLERS AF (1954)

Studies on intravenous administration of calcium, potassium and magnesium to dairy calves II. Some cardiac and respiratory effects.

Am. J. Vet. Res. 15, 25-35

- BINNETOGLU FK, BABAOGLU K, TÜRKER G, ALTUN G (2014)  
Diagnosis, treatment and follow up of neonatal arrhythmias.  
Cardiovasc. J. Afr. 25 (2), 58-62
- BOCKING AD (1993)  
The relationship between heart rate and asphyxia in the animal fetus.  
Clin. Invest. Med. 16 (2), 166-175
- BOLTE A, KESSLER J (1968)  
Elektrokardiogramm des Kaninchenfetus  
Arch. Kreislaufforsch. 57 (3-4), 229-239
- BORN G (1889)  
Beiträge zur Entwicklungsgeschichte des Säugetierherzens  
Arch. Mikr. Anat 33, 284-378
- BRIHOUM M, ROLLIN F, DESMECHT D, DETILLEUX J, AMORY H (2011)  
Clinical evaluation of cardiac effects of experimental doxycycline overdosing in healthy calves  
BMC Veterinary Research 7, 40
- BRUNCKHORST CB, HOLZMEISTER J, SCHARF C, BINGGELI C, DURU F (2003)  
Stress, Depression und kardiale Arrhythmien  
Therapeutische Umschau 60 (11), 673 ff
- BUSSE M, NIßING A, TEGTBUR U, MILTZOW S, THOMAS M, FIKENZER S (2004a)  
EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung  
III. P-Dauer und Herzfrequenz bei Belastung  
KCS 5(3), 50-54
- BUSSE M, NIßING M, TEGTBUR U, THOMAS M, FIKENZER S (2004b)  
EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung  
V. QRS-Dauer und Herzfrequenz bei Belastung  
KCS 5(3), 59-62

BUSSE M, NIßING A, THOMAS M, TEGTBUR U, FIKENZER S (2004c)

EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung

I. QT-Zeit und Herzfrequenz bei Belastung

KCS 5(2), 39-44

BUSSE M, NIßING A, TEGTBUR U, MILTZOW S, THOMAS M, FIKENZER S (2004d)

EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung

IV. PQ-Strecke und Herzfrequenz bei Belastung

KCS 5(3), 55-58

CALLSEN TA (2010)

Biochemische Veränderungen in fetalem Skalblut und funktionelle

Veränderungen der ST-Strecke im fetalen EKG

Diss., Medizinischen Fakultät Charité, Berlin

COLLES CM, PARKES RD, MAY CJ (1978)

Foetal electrocardiography in the mare

Equine. Vet. J. 10, 32-37

CREMER M (1906)

Über die direkte Ableitung der Aktionsströme des menschlichen Herzens vom  
Oesophagus und über das Elektrokardiogramm des Fötus

Münch. Med. Wschr. 53, 811-813

DAUM S, GUANGTIAN Y (1986)

Herzkontraktilität während der akuten respiratorischen Azidose und während  
der akuten Hypoxie

Journal of Tongji Medical University 6(4), 206-211

DICK W, BAUR C, REIFF K (1993)

Der kritische Hämatokrit - eine Analyse

Klinische Anästhesiologie und Intensivtherapie 43, 29-52

DICKSON A D (1957)

The development of the ductus venosus in man and the goat  
J. Anat. 91, 358-367

DOLL K (2002)

Neugeborenendiarrhoe

In: DIRKSEN G, GRÜNDER HD, STÖBER M (Hrsg.)

Innere Medizin und Chirurgie des Rindes. 4. Auflage

Parey Buchverlag im Blackwell Verlag, Berlin und Wien, 561-572

EPSTEIN V (1984)

Relationship between potassium administration, hyperkalaemia and the  
electrocardiogram: An experimental study.

Equine Vet.. J. 16 (5), 453-456

FIKENZER S, NIßING A, TEGTBUR U, THOMAS M, BUSSE M (2005a)

EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung

VII. T-Dauer und Herzfrequenz bei Belastung

KCS 6(2), 24-28

FIKENZER S, NIßING A, TEGTBUR U, THOMAS M, BUSSE M (2005b)

EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung

VI. ST-Strecke und Herzfrequenz bei Belastung

KCS 6(1), 19-23

FISCH C (1973)

Relation of electrolyte disturbances to cardiac arrhythmias

Circulation 47, 408-419

FISCHER J (1932):

Über den Nabel des Kalbes sowie einiger anderer Haustiere mit besonderer  
Berücksichtigung seines Verhaltens bei der Geburt.

Bern, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.



FREESE E, GRAVERT HO, PABST K (1981)

Neuere Ergebnisse zur Statistik von Kälberverlusten.

Tierzüchter 33, 342-343

FUKUTAKE K (1925)

Beiträge zur Histologie und Entwicklungsgeschichte des Herznervensystems

Anatomy and Embryology 76 (4-5), 592-639

GHITA M, COTOR G, BRASLASU C (2008)

The Values of ECG Parameters in New Born Calves

Bulletin UASVM, Veterinary Medicine 65 (1), 437f

GRÄPER L (1921)

Die anatomischen Veränderungen kurz nach der Geburt III Ductus botalli

Z. Anat. Entwicklungsgesch. 61, 312-329

GRUNERT E, MANSFELD R (1989)

Ableitung des fetalen EKG

In: GRUNERT E, BERCHTHOLD M, Fertilitätsstörung beim weiblichen Rind,

3. Auflage, Verlag Paul Parey 1999, 88-89

HADORN W, RIVA G (1951)

Die Störungen der Kaliämie und ihrer klinische Bedeutung

Schweiz. Med. Wschr. 81, 761-792

HANEFELD M, GANZ X, NOLTE C (2014)

Hypoglykämie und Herzrhythmusstörungen bei Patienten mit Diabetes Typ 2

Herz 39(3), 312-319

HARMEYER J, TOBIAS R (2010)

8.10 Störungen des Elektrolythaushalts können sich im EKG niederschlagen

In: ENGELHARDT W, BREVES G (Hrsg.) Physiologie der Haustiere. 3.

Auflage Enke Verlag 2010 Stuttgart, Seite 170-171

HARMS D (1966)

Über den Bau und Verschluss des Ductus arteriosus botalli des Rindes  
Zeitsch. Zellforschung 72, 344-363

HASANPOUR A, MOGHADDAM GA, NEMATOLLAHI A (2008)

Biochemical, Hematological and Electrocardiographic Changes in Buffaloes  
Naturally Infected with Theileria annulata  
Korean J. Parasitol. 46 (4), 223-227

HEINE H (1975)

Entwicklung der Endokardkissen im Wirbeltierherzen. Eine experimentelle und  
vergleichende embryologische Untersuchung.  
Z. Anat. 147, 63-74

HEINRICH G (1957)

Tierexperimentelle Untersuchungen über die pathologischen Veränderungen  
am Herzmuskel und im EKG nach Kreislaufunterbrechung in Hypothermie  
Langenbecks Archiv für klinische Chirurgie 287(1), 441-445

HELD TH; SCHEIDEGGER A; GRUNERT E (1986)

Kardiotokographische Befunde bei lebensfrischen und asphyktischen  
Rinderfeten während der Aufweitungphase der Geburt  
Zbl. Vet. Med. 33, 431-442

HERFEN, K.; BOSTEDT, H. (1999)

Die Korrelation zwischen klinischer und labordiagnostischer  
Vitalitätsbewertung beim neugeborenen Kalb unter besonderer  
Berücksichtigung von Geburtslänge und Geburtsart  
Wien. Tierärztl. Mschr. 86, 255-261

HEROLD G (2013)

V. Wasser-und Elektrolythaushalt: Kalium  
In: HEROLD G: Innere Medizin, Eigenverlag, Köln, 2013, 581-583

HOLMES JR, DARKE PGG (1968)

Foetal Electrocardiography in the mare

Vet. Rec. 82, 651-655

HOLZMANN M (1957)

Ekg und Elektrolyte

Cardiologia 31, 209–218

JAYANTHI M, SYAAM SUNDER N, CHOUDHURI PC (1996)

Electrocardiographic observations in buffalo calves

Buffalo Bull. 15(3), 55-57

JONKER F H, TAVERNE M A M, VAN DER WEYDEN G C (1989)

Cardiotocography in cows: A method for monitoring calves during delivery

Theriogenology 31(2), 425-436

KEITH J B, ROWS R, VLAD P (1958)

Heart disease in infancy and childhood

J. Med. Educ. 33(8), 608-613

KANAGAWA H, TOO K, KAWATA K, ONO H (1965)

Fetal electrocardiogram in dairy cattle, II Diagnosis for twin pregnancy

Jap. J. Vet. Res. 13, 111-119

KANAGAWA H, TOO K, KAWATA K (1966)

Fetal electrocardiogram in dairy cattle, IV Diagnostic application for fetal mummification

Jap. J. Vet. Res. 14, 114-117

KASKE M (1993)

Physiologische Funktionen des Gastrointestinaltrakts und pathophysiologische Veränderungen bei der neonatalen Diarrhoe des Kalbes.

Dtsch. Tierärztl. Wschr. 100, 434-439

KISERUD T (2005)

Physiology of the fetal circulation

Sem. Fet. Neo. Med. 10(6), 493-503

KLINGE R (2011)

Formveränderungen der P-Welle

Veränderung des QRS-Komplexes

In: KLINGE R: Das Elektrokardiogramm: Leitfaden für Ausbildung und Praxis

9.Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 64-69, 72-99

KLÜTSCH K (1965)

Extra-, intrazellulärer Kaliumgehalt, Blutdruck und Ekg bei experimentellem Kaliumentzug mittels Hämodialyse

Arch. Kreisl-Forsch. 47 (3-4), 246-276

LANGE W (1914)

Die anatomischen Grundlagen für eine myogene Theorie des Herzschlages

Arch. Mikr. Anat. 84 (1), 215-262

LARKS SD, HOLM LW, PARKER HR (1960)

A new technic for the demonstration of the fetal electrocardiogram in the large domestic animal (cattle, sheep, horse)

Cornell vet. 50, 459-468

LINDAHL IL, REYNOLDS PJ, ALLMAN KE (1968)

Fetal Electrocardiograms in Dairy Cattle

J. Anim. Sci. 27, 1412-1417

LITTLEDIKE ET, GLAZIER D, COOK M (1976)

Electrocardiographic changes after induced hypercalcemia and hypocalcemia in cattle: Reversal of the induced arrhythmia with atropine.

Am. J. Vet. Res. 37, 383-388

- MATSUI K, SUGANO S, MASUYAMA I, AMADA A, KANO Y (1984)  
Alterations in the Heart Rate of Thoroughbred Horse, Pony and Holstein Cow  
through Pre- and Post-Natal Stages  
Jpn. J. Vet. Sci. 46 (4), 505-510
- MENDES LC, CAMACHO AA, ALVES AL, BORGES AS, SOUZA RC, FERREIRA  
WL (2001)  
Standard electrocardiographic values in Holstein calves  
Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., 53(6), 641-644
- MEYER WW, LIND J (1965)  
Über die Struktur und den Verschlussmechanismus des Ductus venosus  
Zeitsch. Zellforschung 67, 390-405
- MICHEL G (1972)  
Allgemeine Darstellung der Besonderheiten des Blutkreislaufes des Fetus  
Die Entwicklung des Herzens  
In: MICHEL G: Kompendium der Embryologie der Haustiere, 1. Auflage,  
Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 247-256; 266-270
- MÖLLER MJ, HEIDENREICH S, GLADZIWA U, FLOEGE J (2007)  
Alltagsprobleme im Umgang mit terminal niereninsuffizienten Patienten  
Der Internist 48 (8), 795-803
- NAGEL C, AURICH J, AURICH C (2010)  
Determination of heart rate and heart rate variability in the equine fetus by  
fetomaternal electrocardiography  
Theriogenology 73, 973-983
- NAGEL C, AURICH J, PALM F, AURICH C (2011)  
Heart rate and heart rate variability in pregnant warmblood and Shetland  
mares as well as their fetuses  
Ani. Repro. Sci. 127, 183-187

NAYLOR JM, ZELLO GA, ABEYSEKARA S (2006)

Advances in oral and intravenous fluid therapy of calves with gastrointestinal disease.

In: Proceeding of XXIV World Buiatrics Congress, Nice, France, 139–150

NEHB W (1938)

Zur Standardisierung der Brustwand-Ableitung des Elektrokardiogramms

Klin. Wochenschr. 17 (51), 1807-1811

NÖRR J (1921)

Fötale Elektrokardiogramme vom Pferd

Ztschr. Biol. 73, 123-128

ÖZKAN C, ALTUG N, YÜKSEK N, KAYA A, AKGÜL Y (2011)

Assessment of electrocardiographic findings, serum nitric oxide, cardiac troponins and some enzymes in calves with hyperkalemia related to neonatal diarrhoea.

Revue Méd. Vét. 162, 171-176

PAGE E W, VILLEE C A, VILLEE D B (1976)

Human Reproduction.

In: PAGE W: The Core Content of Obstetrics, Gynecology and Perinatal Medicine, Saunders, Philadelphia, 337-338

PRUITT RD (1962)

Electrocardiogram of Bundle-Branch Block in the Bovine Heart

Circ. Res. 10, 593-597

RADKE J (1988)

Das ionisierte Calcium im Extrazellularraum bei Hypothermie und Azidose  
Anaesthesiol. Intensivmed. 207

REZAKHANI A, PAPHAN AA, SHEKARFROUSH S (2004)

Analysis of base apex lead electrocardiograms of normal dairy cows

Vet. arhiv 74, 351-358

RICHTER B (2005)

Prognostische Aussagekraft arterieller gegenüber venöser Blutgasparameter  
im wiederholten Messrhythmus hinsichtlich des Schweregrades des  
neonatalen Atemnotsyndroms beim Kalb

Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen

ROSEN KG, HRBEK A, KARLSON K, KJELLMER I, OLSSON T, RIHA M (1976)

Changes in the ECG and Somatosensory-Evoked EEG Responses during  
Intrauterine Asphyxia in the Sheep

Biol. Neonate. 30, 95–101

RÜSSE I (1991)

Kap. 9 Herz- und Kreislaufsystem

In: RÜSSE I, SINOWATZ F: Lehrbuch der Embryologie der Haustiere, 1.

Auflage, Verlag Paul Parey Hamburg, 221-227, 241-244

SAKHA M, REZAKHANI A (2001)

Study on correlation of oleander poisons and cardiac arrhythmias in  
experimentally poisoned calves

J. Vet. Res. 56(2), 95-102

SCHÄFFER H, BUCKA E, FRIEDLÄNDER K (1927)

Über die Einwirkung des Insulins und der Hypoglykämie auf das menschliche  
Herz

Z. Gesamte. Exp. Med. 57(1), 35-67

SCHARHAG J, BURGSTAHLER C (2013)

Das Sportler-EKG: Aktuelle Interpretationen und Empfehlungen.

Dtsch. Z. Sportmed. 64, 352-356.

SCHEID T (2004)

Untersuchungen zur Stabilisierung der frühen postnatalen  
Adaptationsvorgänge bei Kälbern in Mutterkuhhaltung - ein Beitrag zur  
Charakterisierung postnataler Anpassungsreaktionen  
Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen

SHELLER B, PIPA G, KERTSCHO H, LAUSCHER P, HABLER O, ZACHAROWSKI  
K, MEIER J (2010)

Normovoläme Anämie induziert eine Verlängerung der QT-Strecke und eine  
Verminderung der Amplitude der T-Welle im Hausschwein  
Anästh. Intensivmed. 51, 337

SCHLÖMERICH P, NIETH H, STEIN E, SCHLITTER JG (1959)

Elektrokardiographische Befunde bei Urämie und Hämodialyse  
Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin 65, 618-621

SCHNORR B, KRESSIN M (2001)

Fetaler Blutkreislauf, Herz  
In: SCHNORR B, KRESSIN M: Embryologie der Haustiere, 4. Auflage, Enke  
Verlag Stuttgart, 199-205; 210-212

SLAPAK L (1957)

Beobachtungen über den Atropinversuch bei im Ruhe-EKG verlängerter PQ-  
Zeit von Sportlern  
Acta Neurovegetativa 15(3), 269-272

SO CS, VOLGER E, BATRICE L (1975)

Beziehungen zwischen Serumelektrolytwerten und EKG-Veränderungen  
Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin 81, 202-205

SPÖRRI H (1975)

Elektrokardiographie. Grundlagen der Elektrokardiographie (1)  
Tierärztl. Prax. 3, 1-6



STÄHLI K (2010)

Evaluierung und klinischer Einsatz eines ambulanten fetalen EKGs zur Überwachung von Stuten in der Hochträchtigkeit  
Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen

STARCK D (1955)

Der fetale Kreislauf und die Veränderungen am Gefäßsystem kurz nach der Geburt  
In: STARCK D: Embryologie, 3. Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 567-569

STEFFEN S, MANSFELD R, IBENTHAL S, GRUNERT E (1995)

Untersuchungen zur Anwendung eines extern abgeleiteten fetalen Elektrokardiogramms in der Trächtigkeitsfeststellung und der geburtshilflichen Diagnostik beim Rind zur Vitalitätseinschätzung des Fetus  
Schweiz. Arch. Tierheilkd. 1995;137(9), 432-7

STEWART JS, STEWART WK, MORGAN HG, MCGOWAN SW (1965)

A clinical and experimental study of the electrocardiographic changes in extreme acidosis and cardiac arrest  
Brit. Heart J., 27, 490

STÖBER M, GRÜNDER HG (1990)

Kreislauf  
In: ROSENBERGER G: Die klinische Untersuchung des Rindes, 3. Auflage  
Paul Parey Verlag, Berlin, 171-241

TAJIK J, NAZIFI S, NAGHIB M, GHASRODASHTI AR (2010)

Comparison of electrocardiographic parameters and serum electrolytes and microelements between single infection of rotavirus and coronavirus and concurrent infection of Cryptosporidium parvum with rotavirus and coronavirus in diarrheic dairy calves  
Comp. Clin. Pathol. 21(3), 241-244

THOMAS L (2005)

Calcium (Ca)

In: THOMAS L (Hrsg): Labor und Diagnose,  
TH-Books 6. Aufl. (2005), 333 ff

TILLEY L P, BURTNICK N, EGNER B (2006)

Übersicht ST-Strecke, T-Welle, QT-Intervall

In: Das Handbuch für die Kleintierpraxis – EKG made easy  
BE VetVerlag, 2. Auflage (2006), 108

TILLEY L P (1989)

Einführung in das Elektrokardiogramm

In: EKG bei Hund und Katze: Grundlagen, Auswertung und Therapie  
Schlütersche Verlag Hannover (1989), 46-47

TOO K, KANAGAWA H, KAWATA K (1965)

Fetal electrocardiogram in dairy cattle, I Fundamental Studies  
Jap. J. Vet. Res. 13, 71-83

TOO K, KANAGAWA H, KAWATA K (1966)

Fetal electrocardiogram in dairy cattle, III Variations in fetal QRS pattern  
Jap. J. Vet. Res. 14, 103-113

TOO K, KANAGAWA H, KAWATA K, INOUE T, ODAJIMA T (1967)

Fetal electrocardiogram in dairy cattle, V Findings at parturition  
Jap. J. Vet. Res. 15, 21-30

VAN ARSDEL WC, KRUEGER H, BOGART R (1959)

Lead Selection, Cardiac Axes an Interpretation of Electrocardiograms in Beef  
Cattle  
Tec. Bul. 51, 3-63

VAN VLEET JF, AMSTUTZ HE, WEIRICH WE, REBAR AH, FERRANS VJ (1983)

Clinical, clinicopathologic, and pathologic alterations in acute monensin toxicosis in cattle.

Am. J. Vet. Res. 44 (11), 2133-2144.

WAHL P, BLOCH W, MESTER J (2009)

Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül.

Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie 57 (3), 100–107

WALSER K (1990)

1.3 Herz- und Kreislaufsystem

1.4 Atmung

In: WALSER K, BOSTEDT H (Hrsg.), Neugeborenen- und Säuglingskunde der Tiere, ENKE Verlag Stuttgart, 1. Auflage, 4-5, 6-8

WELDON AD, MOISE NS, REBHUN WC (1992)

Hyperkalemic atrial standstill in neonatal calf diarrhea.

J. Vet. Int. Med. 6, 294-297

WHITTINGTON RJ, COOK RW (1988)

Cardiomyopathy and woolly haircoat syndrome of Poll Hereford cattle: electrocardiographic findings in affected and unaffected calves

Aust. Vet. J., 65 (11), 342-344

WÜTZ D, SCHÄTZLE B, BALMER C (2011)

EKG-Interpretation bei Kindern. Ein Leitfaden für die Evaluation altersspezifischer Befunde

Pädiatrie 3, 7-12

YIN SA, NOLTE I (2007)

Kalium: Hyperkaliämie und Hypokaliämie

In: YIN SA, NOLTE I (Hrsg.), Praxisleitfaden Hund und Katze

2. Auflage, Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover, 463

ZIETZSCHMANN O, KRÖLLING O (1955)

Entwicklung des Kreislaufapparates, des Herzens

In: ZIETZSCHMANN O, KRÖLLING O, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte  
der Haustiere, 2. Auflage, Paul Parey Berlin, 283-295

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 :Vereinfachtes Schema des Fetalkreislaufes beim Rind. Die Farben zeigen die Sauerstoffsättigung des Blutes (hellrot = hoch, violett = mittel, blau = niedrig) aus SCHNORR et al. (2001) in Anlehnung an ZIETZSCHMANN (1955).....	5
Abbildung 2: Ableitung eines fetalen Elektrokardiogrammes aus GRUNERT und MANSFELD (1989).....	9
Abbildung 3: Elektrodenpositionen zur Brustwandableitung aus VAN ARSDEL (1959).....	12
Abbildung 4: Typische Elektrokardiogrammbefunde von Kälbern nach Infusion 0,3 molarer Salzsäurelösung aus STEWART et al. (1965).....	17
Abbildung 5: Televet 100 Gerät mit den zugehörigen Patientenkabeln, den selbstklebenden Einmalelektroden und der Nylontasche zur Befestigung am Patienten.....	19
Abbildung 6: Gesundes schwarz-buntes Bullenkalb, 3 Tage post natum während der EKG-Messung .....	20
Abbildung 7: Gleichmäßiges und regelmäßiges Elektrokardiogramm eines gesunden Kalbes am ersten Lebenstag ohne Artefakte. Die grünen Markierungen grenzen den von Hand gewählten Auswertungszeitraum ein.....	38
Abbildung 8: Verlaufskurven der Kälber aus Spontangeburt und Schweregeburten: a) P-Wellen Dauer, b) QRS-Komplex Dauer, c) T-Wellen Dauer, d) P-Q-Intervall Dauer, e) Q-T- Intervall Dauer, f) S-T-Strecken Dauer, g) Herzfrequenz, h) Atemfrequenz, i) Körperinnentemperatur in den ersten fünf Lebenstagen.....	46
Abbildung 9: Kalb mit Diarrhoe im Alter von elf Tagen mit Tachykardie „P auf T“-Phänomen.....	54
Abbildung 10: Kalb mit Diarrhoe im Alter von sechs Tagen mit erhöhten und verbreiterten P-Wellen.....	55

Abbildung 11: Kalb mit Diarrhoe im Alter von zwölf Tagen mit elektrischem Alternans .....	55
Abbildung 12 + 13: Kalb mit Diarrhoe im Alter von elf Tagen mit ventrikulären Extrasystolen.....	56
Abbildung 14: Kalb im Alter von zehn Tagen mit AV Stillstand mit sinuventrikulärer Leitung.....	57
Abbildung 15: Kalb mit Diarrhoe im Alter von acht Tagen mit Sinusarrhythmie und ST-Hebung vor der Infusion.....	57
Abbildung 16: Kalb im Alter von acht Tagen mit deutlicher Veränderung im EKG (der Abstand zwischen den P-Wellen wechselt von Herzschlag zu Herzschlag, die Komplexamplitude ist deutlich erhöht) vor der Infusion.....	58
Abbildung 17: Verlaufskurven der Kälber mit neonataler Diarrhoe: a) P-Wellen Dauer, b) QRS-Komplex Dauer, c) T-Wellen Dauer, d) P-Q-Intervall Dauer, e) Q-T-Intervall Dauer, f) S-T-Strecken Dauer, g) Herzfrequenz, h) Atemfrequenz, i) Körperinnentemperatur während der Behandlung.....	62

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Labordiagnostische Referenzwerte für venöse Blutproben neonataler Kälber für die Parameter pH-Wert, Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) nach BERCHTHOLD et al. (1990).....	21
Tabelle 2:	Elektrodenplatzierung für die EKG-Messung am neonatalen Kalb.....	24
Tabelle 3:	Maßnahmen zur Reanimation und Erstversorgung eines Kalbes im zeitlichen Ablauf.....	25
Tabelle 4:	Durchschnittliche Dauern der P-Wellen, QRS- Komplexe, T-Wellen, P-R-Intervalle, Q-T-Intervalle in Sekunden bei 600 herzgesunden Holstein-Frisian Kühen bei einer durchschnittlichen Herzfrequenz von $76 \pm 9$ Schlägen/Minute nach REZAKHANI et al. (2004).....	31
Tabelle 5:	Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körperinnentemperatur in °C (Temp.) der bovinen Neonaten (n = 20) aus Spontangeburt in den ersten fünf Lebenstagen.....	34
Tabelle 6:	Messwerte der Kälber (n = 20) aus Spontangeburt am ersten Lebenstag für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), ionisiertes Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac).....	35
Tabelle 7:	Messwerte für die Dauer der EKG-Parameter P-Welle, QRS-Komplex, T-Welle, Q-T-Intervall, P-Q-Intervall und S-T-Strecke und der mittleren Herzfrequenz der Elektrokardiogramme der bovinen Neonaten (n = 20) aus Spontangeburt in den ersten fünf Lebenstagen in Millisekunden.....	36
Tabelle 8:	Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körperinnentemperatur in °C (Temp) der Neonaten aus Schweregeburten in den ersten fünf Lebenstagen.....	38

Tabelle 9:	Labordiagnostische Messwerte der Kälber aus Schweregeburten am ersten Lebenstag für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na <sup>+</sup> ), Kalium (K <sup>+</sup> ), ionisiertes Calcium (Ca <sup>2+</sup> ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac).....	39
Tabelle 10:	Messwerte für die Dauer der EKG-Parameter P-Welle, QRS-Komplex, T-Welle, Q-T-Intervall, P-Q-Intervall und S-T-Strecke und der mittleren Herzfrequenz der Elektrokardiogramme der bovinen Neonaten (n = 20) aus Schweregeburten in den ersten fünf Lebenstagen in Millisekunden.....	40
Tabelle 11:	Gruppenvergleich der labordiagnostischen Messwerte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na <sup>+</sup> ), Kalium (K <sup>+</sup> ), ionisiertes Calcium (Ca <sup>2+</sup> ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) am ersten Lebenstag der Kälber aus Spontangeburt gegenüber den Kälbern aus Schweregeburten.....	41
Tabelle 12:	Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung bzgl. des Tages in Form des Wald-Testes für die Verlaufsdaten P-Wellen-Dauer (PDau), QRS-Komplex-Dauer (QRSDau), T-Wellen (TDau), Q-T-Intervall (QTDau), P-Q-Intervall (PQDau), S-T-Strecke (STDau), Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körperinnentemperatur (Temp) zum Vergleich der Gruppen (Spontangeburt und Schweregeburt) und Beobachtungszeitpunkte mit Signifikanzangabe (n. s. = nicht signifikant; s. = signifikant).....	44
Tabelle 13:	Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRSDau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körperinnentemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na <sup>+</sup> ), Kalium (K <sup>+</sup> ), ionisiertes Calcium (Ca <sup>2+</sup> ), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber aus Spontangeburt am ersten Tag post natum mit Korrelationskoeffizient / p-Wert.....	48



- Tabelle 14: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRSDau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber aus Schweregeburten am ersten Tag post natum mit Korrelationskoeffizient / p-Wert.....49
- Tabelle 15: Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur in °C (Temp.) der bovinen Neonaten (n = 20) mit neonataler Diarrhoe in den ersten fünf Tagen nach Einlieferung in die KGGA.....50
- Tabelle 16: Labordiagnostische Messwerte der Kälber mit neonataler Diarrhoe (n = 20) zu den jeweiligen Elektrokardiogrammen für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose und Laktat.....51 + 52
- Tabelle 17: Messwerte für die Dauer der EKG-Parameter P-Welle, QRS-Komplex, T-Welle, Q-T-Intervall, P-Q-Intervall und S-T-Strecke in Millisekunden und der mittleren Herzfrequenz in Schlägen pro Minute der Elektrokardiogramme der Kälber mit neonataler Diarrhoe in den ersten fünf Tagen der Behandlung.....53
- Tabelle 18: Vergleich der einfaktoriellen Varianzanalyse (EVA) mit Messwiederholung bezüglich des Messzeitpunktes bis Messzeitpunkt 4 mit dem Wald-Test wegen fehlender Werte bis Messzeitpunkt 6 der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRSDau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau), der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) und der labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct),

Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) der Kälber mit neonataler Diarrhoe. (s. = signifikant; n. s. = nicht signifikant).....60

Tabelle 19: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körperinnentemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe vor der initialen Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert.....66

Tabelle 20: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körperinnentemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe nach der initialen Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert.....67

Tabelle 21: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQDau), Q-T-Intervall (QTDau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körperinnentemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter

der Kälber mit neonataler Diarrhoe am zweiten Tag der Behandlung mit  
Korrelationskoeffizient / p-Wert.....68

Tabelle 22: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQ Dau), Q-T-Intervall (QT Dau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe am dritten Tag der Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert.....69

Tabelle 23: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQ Dau), Q-T-Intervall (QT Dau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe am vierten Tag der Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert.....70

Tabelle 24: Korrelationsanalyse der elektrokardiographischen Messwerte P-Wellendauer (PDau), QRS-Komplexdauer (QRS Dau), T-Wellendauer (TDau), P-Q-Intervall (PQ Dau), Q-T-Intervall (QT Dau), S-T-Strecke (STDau) und der Vitalparameter Herzfrequenz (HF), Atemfrequenz (AF) und Körpertemperatur (Temp) in Bezug auf die labordiagnostischen Werte für die Parameter pH-Wert (pH), Base excess (ABE), Hämatokrit (Hct), Natrium (Na<sup>+</sup>), Kalium (K<sup>+</sup>), ionisiertes Calcium (Ca<sup>2+</sup>), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) und die Vitalparameter der Kälber mit neonataler Diarrhoe am fünften Tag der Behandlung mit Korrelationskoeffizient / p-Wert.....71

Ich erkläre:

Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der "Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" niedergelegt sind, eingehalten.

Julia Nowak

## **Danksagung**

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Axel Wehrend für die Überlassung des Themas und die raschen und sorgfältigen Korrekturen während der Abfassung der Arbeit.

Bedanken möchte ich mich bei Dr. K. Failing, Frau Sparrenberg und Herrn Schaubmar von der Arbeitsgruppe Biomathematik für ihre Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Ein großer Dank geht an die Mitarbeiter der Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie für die Hilfsbereitschaft und Unterstützung während der Messungen und für die großartige Zeit der Famulatur.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Dominik Fischer für die schnelle Hilfe, als meine Englischkenntnisse versagten.

Ein weiterer Dank geht an meinen Freund Marc für das Ertragen gewisser Stimmungsschwankungen während des Schreibens der Arbeit.

Zudem gebührt ein ganz großes Dankeschön meinen Eltern, ohne die das Studium der Tiermedizin nicht möglich gewesen wäre.



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**  
STAUFENBERGRING 15  
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890  
redaktion@doktorverlag.de  
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6522-5



9 78 3 8359 6522 5

Photo cover: © countrypixel @ fotolia.de